

I, Gordon SPENCE BA, BSc, MIL, BDÜ,  
translator to RWS Group plc, of Europa House, Marsham Way, Gerrards Cross,  
Buckinghamshire, England, hereby declare that I am conversant with the English and German  
languages and am a competent translator thereof. I declare further that to the best of my  
knowledge and belief the following is a true and correct translation of the accompanying  
documents in the German language.

Signed this 1st day of March 2001

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'G. Spence', with a small horizontal line underneath.

G. SPENCE

For and on behalf of RWS Group plc

**Best Available Copy**

Lucent Technologies

**Digital data transmission system**

5

Field of the invention

The invention relates to a data transmission system and a method, in particular for frame-oriented digital data transmission of a plurality of useful signals embedded in a carrier signal, using time-division multiplex operation, rate matching being undertaken between at least one useful signal and the carrier signal by means of stuff locations.

15 Prior art

The importance of digital data transmission for the information society of the 21st Century is increasing strongly. Important applications for this are, for example, voice and data transmission in telecommunication networks and via the Internet. A major part of digital data transmission is presently accomplished by means of optical signals via optically conducting fibres, since transmission via an optical channel (OCh) generally permits higher data rates than transmission of electric signals via metallic conductors.

Standards are defined by the International Telecommunication Union (ITU) in order to ensure compatibility of the data formats between different users in a network. Frequently used standards are the ITU-T G.813, ITU-T G.958, ITU-T G.825, ITU-T G.707 and ITU-T G.975 Standards, which are hereby rendered in full measure the subject matter of the disclosure of this description. A flexible data format is achieved by virtue of the fact that the data are embedded in frames which typically contain an overhead and useful data sections (payload envelope). The useful data to be transmitted are embedded in the useful data sections. The overhead serves in this case, inter alia, for

transmitting control information. Regarding the processing of overheads of optical channels in the case of frame-oriented data transmission via optical channels, reference may also be made to

5 Ballintine, J.E. "Data Format and Generic Processing for OCh-OH", wave star, volume 420.200.11, issue 1.0, which printed publication is hereby rendered in full measure the subject matter of the disclosure of this description.

10 In order to transmit a plurality of useful signals (clients) via the same physical channel, the useful signals are typically multiplexed. For example, four useful signals or secondary streams with data rates of respectively 2.488 gigabits per second

15 (Gbit/s) ( $\approx 2.5$  Gbit/s) are mapped into a carrier signal (server) of approximately 10.7 Gbit/s using time-division multiplex operation. Known data hierarchies typically used for this purpose are the synchronous digital hierarchy (SDH) and the synchronous

20 optical network (SONET).

In these known transmission systems in accordance with SDH or SONET, data are typically transmitted by means of synchronous transport modules (STM). A synchronous transport module contains a

25 dedicated STM section overhead (STM-SOH) and a useful data area in which virtual containers with useful data are embedded.

A central problem in digital data transmission is the handling of different data rates between the useful signals (clients) and the carrier signal. For

30 example, if the rate of the useful signal is higher than the rate of the carrier signal, excess data must be stored as stuff bytes in stuff locations (negative stuff opportunities) in order to achieve rate matching.

35 For this purpose, each synchronous transport module in the STM section overhead contains three stuff bytes for rate matching. In order to locate the start of the virtual container, which start can be displaced by the stuffing, there is, moreover, located in the section

overhead of each synchronous transport module a pointer which points as start value to the first byte of the virtual container and is decremented or incremented during stuffing.

5           In the transmission of the synchronous transport modules in accordance with SDH or SONET, stuff locations are therefore reserved inside each STM section overhead. This method proves, however, to be disadvantageous, since, with reference to the selected  
10       example ( $4 \times 2$ , 5G  $\rightarrow$  10G), a stuffing area for each of the four useful signals is reserved in each OCh frame and reassigned in the receiver, something which is associated with a high degree of processing complexity and therefore requires a high and cost intensive outlay  
15       on hardware and software.

          Moreover, in transmission using so-called STM-N/OC-M multiplexers (which operate according to the ITU-T G. 707 Standard), the STM section overhead (STM-SOH) is always truncated. The said hierarchies are  
20       therefore data-transparent and time-transparent only with reference to the administrative data units, that is to say with reference to the administrative units, AU-x data units of the synchronous digital hierarchy, and with reference to the equivalent data units of the  
25       synchronous optical network. The original timing and the STM section overhead are not transmitted. Consequently, the synchronous digital hierarchy and the synchronous optical network are not completely data-transparent and time-transparent, that is to say bit-  
30       for-bit data preservation is not ensured during transmission. As a result, inter alia the outlay on hardware and software is increased, since it may be necessary to generate a new overhead in the receiver.

          Moreover, it is desirable also to transmit data  
35       signals whose data rate is known although their data structure is unknown. Such data signals are denoted as clear-channel signals. Examples of such clear-channel signals are signals in accordance with the Ethernet standard or the Internet protocol (IP).

When such a clear-channel signal is to be transmitted by means of a transmission system which operates in accordance with the synchronous digital hierarchy, it is firstly translated into the structure  
5 of the synchronous digital hierarchy, that is to say the signal is transmitted neither in a data-transparent nor in a time-transparent fashion. Moreover, this translation requires a high degree of processing complexity and thereby necessitates high costs.

10 One object of the invention is therefore to make available a transmission system and/or a method of the type mentioned at the beginning, which avoid or at least reduce the disadvantages of the prior art.

A further object of the invention is to make  
15 available a transmission system and/or a method which make available data-transparent and/or time-transparent transmission, in particular of data signals in accordance with the synchronous digital hierarchy, the synchronous optical network or clear-channel signals.

20 A further object of the invention is to make available a transmission system and/or a method which cause a lesser degree of complexity and a lower outlay on costs.

A further object of the invention is to make  
25 available a transmission system and/or a method which permit reliable data transmission at a low bit error rate.

The objects are achieved in a surprisingly  
30 simple way simply by the transmission system and the method which are defined by Claims 1 and 17.

In the transmission system according to the invention, at least one first useful signal (client) is mapped into a carrier signal using time-division multiplex operation, for example sections of the useful  
35 signal are transmitted sequentially in time. Use is made of frame-oriented transmission of the digital data, the data to be transmitted being embedded in a superframe of the carrier signal, which superframe preferably comprises a plurality of, for example, four

frames according to the ITU-T G.975 Standard, or is essentially composed thereof. According to the invention, useful data of the first useful signal are embedded in useful data sections, in particular  
5 predetermined useful data sections of a first superframe. If, for example, the rate of the useful data of the first useful signal is higher than the rate of the carrier signal, excessive components of the useful data of the first useful signal are embedded for  
10 transmission in stuff locations which are reserved in the superframe. Furthermore, indicator data can be embedded in the first superframe and are transmitted therewith. Using the indicator data, it is possible once again to assign the components, embedded in the  
15 stuff locations, of the useful data of the first useful signal with the latter.

Rate matching of the first useful signal with the carrier signal is achieved by embedding excess data, preferably bits or bytes.

20 The transmission system according to the invention advantageously permits direct bit-for-bit transmission of the data, in particular of STM signals or useful data, that is to say permits time-transparent and data-transparent transmission of the overall data  
25 stream. The signal can be reconstituted in a bit-for-bit fashion after demultiplexing, just as it was previously multiplexed. The transmission system can therefore advantageously transmit a multiplicity of signals of known, but also, in particular, of unknown  
30 data structure, for example clear-channel signals, and is therefore also well suited for future applications. Furthermore, in particular, the frame structure of the useful signal is retained during transmission and recovered in the receiver.

35 Moreover, the outlay for truncating the overhead of signals in accordance with the synchronous digital hierarchy or the synchronous optical network both in the hardware and in the software is lower than

in the case of previously known systems, and this yields a saving in costs.

The transmission system according to the invention is suitable, in particular, for optical data transmission, for example via optically conducting fibres. Transmission by means of an optical channel (OCh) preferably takes place in accordance with ITU-T G.975 Standard. The latter defines a frame structure which comprises an overhead, a useful data section (regular payload, RP) and a section for forward error correction (FEC).

It is preferred for a plurality of, for example four frames to be combined to form a superframe, and for four bytes to be reserved as stuff locations in only one of the four frames, in particular in the temporary third frame of each superframe. A further four bytes for the indicator data and further control data are then provided in the same frame, the indicator data themselves occupying at most four bits. Furthermore, a plurality of, for example four or sixteen superframes for transmitting four or sixteen, respectively, useful signals are combined to form a multiframe. Such a virtual channel is also denoted as a "digital wrapper". Reference may be made in this connection to Ballintine, J.E. "Data Format and Generic Processing for OCh-OH", wave star volume 420.200.11, issue 1.0.

It is preferred for useful data of each useful signal not to be stuffed in every multiframe. In particular, a maximum of or exactly one useful signal is stuffed in each multiframe for rate matching, and an item of assigning information or a multiframe indicator is embedded in relation to the stuffed useful signal into the carrier signal, in particular into the path layer overhead of the carrier signal.

If, for example, four useful signals are multiplexed or mapped, this means that, in temporal sequence, useful data of the first useful signal are stuffed in an *i*th superframe, useful data of the second

useful signal are stuffed in an  $(i+1)$ th superframe, useful data of the third useful signal are stuffed in an  $(i+2)$ th superframe, useful data of the fourth useful signal are stuffed in an  $(i+3)$ th superframe, in turn  
5 useful data of the first useful signal are stuffed in an  $(i+4)$ th superframe, etc., and that indicator data for reassigning the stuffed useful data relative to the associated useful signal are provided in each superframe. In the four-fold case, a multiframe is  
10 composed respectively of the superframes  $i$ ,  $i+1$ ,  $i+2$  and  $i+3$ . In the sixteen-fold case, a multiframe is correspondingly composed of superframes  $i$  to  $i+15$ . This structuring has the advantage that only useful data of precisely only one useful signal are stuffed in each  
15 superframe, thus achieving a low complexity in processing and reassigning.

The indicator data are preferably stored in the overhead of one of the frames in the superframe. In this case, it is preferable according to the invention  
20 for at most eight bytes for the indicator data to be occupied together with the stuff locations, and previously unused bytes in the path layer overhead or path overhead are used as stuff locations and for the indicator data. The use of already existing and  
25 previously unused storage positions or bytes is particularly advantageous, since the data rate of the virtual digital wrapper channel used is not increased.

In a further advantageous development of the invention, the excess useful data to be stuffed are  
30 temporarily stored in the transmitter and not embedded into the superframe and transmitted until one or four bytes to be stuffed are accumulated. This also achieves a substantial simplification in hardware and software.

Since the indicator data for the reassignment  
35 to the useful signal are of great importance, a bit error in the indicator data would have an extremely negative effect. In the most unfavourable case, the entire associated useful signal could no longer be used in the corresponding multiframe. Consequently, the



indicator data are preferably coded redundantly. A particularly advantageous coding method uses a so-called Hamming code. The Hamming code is additionally applied to an already known Reed-Solomon coding (RS coding), the result being to ensure a particularly high security against bit errors, that is to say an extremely low bit error ratio (BER) is ensured.

It remains to be mentioned at this juncture that, unless expressly denoted as temporary first, second, third, fourth, no temporal sequence is fixed by first, etc., but a reference point is created for distinguishing.

The invention is explained in more detail below with the aid of exemplary embodiments and with reference to the drawings.

#### Brief description of the drawings and tables

In the drawings:

- Figure 1 shows the structure of a superframe, comprising four OCh frames in accordance with the ITU-T G.975 Standard,
- Figure 2 shows various mapping examples of useful signals in a multiframe of a carrier signal, comprising sixteen OCh superframes in accordance with Figure 1,
- Figure 3 shows a detail of the structure of the temporary third frame in accordance with Figure 1, in the case of mapping of four useful signals in a carrier signal,
- Figure 4 shows a detail of the structure of the temporary third frame in accordance with Figure 1, in the case of mapping of sixteen useful signals in a carrier signal,
- Figure 5 shows a detail of the structure of the temporary third frame in accordance with Figure 1, in the case of mixed mapping of thirteen useful signals in a carrier signal,
- Figure 6 shows an arrangement of the four path layer overhead bytes X3\_9 to X3\_12 of the optical

channel, in which the stuff location management information is stored,

Figure 7 shows the composition of a first Hamming code word  $HC(6,3,3)$  for protecting the bits  $M_3$ ,  $M_1$  and  $C_0$ ,

Figure 8 shows the composition of a second Hamming code word  $HC(6,3,3)$  for protecting the bits  $M_3$ ,  $M_1$  and  $C_0$ , and

Figure 9 shows the bit structure of the 16-bit rate matching extension.

Furthermore, in the tables:

Table 1 shows the multiframe indicator for the mapping examples according to Figure 2 between the useful signals and the OCh superframes,

Table 2 shows the lengths of period of the OCh superframes and OCh multiframes for the mapping examples according to Figure 2,

Table 3 shows the significance of the two control bits for the rate matching  $C_0$  and  $C_1$ ,

Table 4 shows the table of assignment between the 3-bit syndrome  $s$  and the derived error correction pattern  $c$ ,

Table 5 shows the bit error ratio (BER) of the section layer of the optical channel (OCh) before and after the Reed-Solomon ( $RS(255,239,217)$ ) decoding,

Table 6 binomial probabilities for different numbers of bit errors in an HC code word after the RS decoding and before the HC decoding,

Table 7 shows bit error probabilities and the mean time between the bit errors, and

Table 8 shows supported values of the signalling and alarm indicator (SAI) ( $S_3$  to  $S_0$ ) for a special useful signal.

#### Detailed description of the invention

The embodiments explained below relate by way of example to the regular superimposition of 4 useful

signals (clients) ( $4 \times 2.5 \text{ Gbit/s} \rightarrow 10 \text{ Gbit/s}$  or  
 $4 \times 10 \text{ Gbit/s} \rightarrow 40 \text{ Gbit/s}$ ) or 16 useful signals  
( $16 \times 2.5 \text{ Gbit/s} \rightarrow 40 \text{ Gbit/s}$ ) and to the mixed  
superimposition of 13 useful signals ( $12 \times 2.5 \text{ Gbit/s} +$   
5  $1 \times 10 \text{ Gbit/s} \rightarrow 40 \text{ Gbit/s}$ ) in relation to one carrier  
signal (server) in each case. Rate matching is provided  
by means of stuff locations 105. The exemplary  
embodiment operates according to the ITU-T G.975  
Standard. With reference to Figure 1, four of the OCh  
10 frames (frame #1 to frame #4) defined by the ITU-T  
G.975 Standard are combined to form one OCh superframe  
#1. Each OCh frame or frame contains an overhead OH, a  
section for embedding useful data (payload envelope)  
and a section for the forward error correction FEC. The  
15 data rates 10 Gbit/s and 40 Gbit/s for the carrier  
signal relate to the useful data rate. The data rates  
for the overall frame structure are approximately  
10.66 Gbit/s and 42.65 Gbit/s, respectively, owing to  
the addition of the OCh overhead and the forward error  
20 correction. In accordance with the frame structure  
used, the data are processed in a 16 byte (16 lines)  
parallel architecture. The following previously unused  
overhead bytes of the optical channel exist in this OCh  
superframe or superframe:

- 25 1. in the section layer overhead of the optical  
channel OCh-SOH, three previously unused bytes:  
X2\_3, X2\_4, X2\_4 in frame #2
2. in the tandem connection layer overhead of the  
optical channel OCh-TCOH, three previously unused  
30 bytes: X2\_14, X2\_15, X2\_16, in frame #2 and
3. in the path layer overhead of the optical channel  
OCh-POH, eight previously unused bytes: X3\_9,  
X3\_10, X3\_11, X3\_12, X3\_13, X3\_14, X3\_15, X3\_16 in  
frame #3.

35 Here,  $X_{i,j}$  denotes the  $j$ th byte of the overhead  
of the  $i$ th frame in the OCh superframe. Furthermore, it  
should be mentioned at this juncture that the section  
layer overhead of the optical channel OCh-SOH and the

section overhead of a synchronous transport module STM-SOH are different.

Since the path layer overhead POH of the optical channel is truncated in each section, and the tandem connection layer overhead TCOH is truncated as soon as a tandem connection (TC) is produced, these bytes are not suitable for storing rate matching information. Consequently, the path layer overhead of the optical channel OCh-POH is used for the rate matching. Owing to the use of the overhead bytes of the optical channel, the network operator is capable of transmitting both OC-48 signals and clear-channel signals at an OC-48 rate.

#### 15 Application of a multiframe structure

The superframe system or method described uses a multiframe structure which is composed of 16 OCh superframes, as they are illustrated in Figure 1. According to the invention, a specific useful signal is stuffed in a specific superframe SF of the optical channel OCh, and management information for the stuff operation is processed. The assignment for the mapping examples

4 × 2.5 Gbit/s	→ 10 Gbit/s (Modulo 4 mapping)
4 × 10 Gbit/s	→ 40 Gbit/s (Modulo 4 mapping)
16 × 2.5 Gbit/s	→ 40 Gbit/s (Modulo 16 mapping)
a × 2.5 Gbit/s + b × 10 Gbit/s	→ 10 Gbit/s (mixed mapping)

is illustrated in Figure 2. It is evident to the person skilled in the art in this case that these examples are to be understood only as exemplary. The transmitted carrier signal also contains a continuous sequence of an arbitrary number of multiframes, with the result that the frame structure is repeated arbitrarily along the carrier signal. Each multiframe MF (multiframe) contains a sequence of 16 OCh superframes with the numbering  $i, i+1, \dots, i+15$ . Correspondingly, a multiframe indicator MFI, that is to say an indication

value  $MFI \in [0, 1, \dots, 15]$  belongs to each OCh superframe. The signal section 101 shows a first possibility for regular mapping of four useful signals in a carrier signal. In this case, either 4 useful  
5 signals #1, #2, #3, #4 are mapped or superimposed at a rate of 2.5 Gbit/s into a carrier signal of 10 Gbit/s, or 4 useful signals #1, #2, #3, #4 are mapped or superimposed at 10 Gbit/s into a carrier signal of 40 Gbit/s. Signal section 102 shows the regular mapping  
10 of 16 useful signals #1 to #16 at 2.5 Gbit/s into a carrier signal of 40 Gbit/s, and signal section 103 shows the mixed mapping of 12 useful signals #1, #3, #4, #5, #7, #8, #9, #11, #12, #13, #15, #16 at 2.5 Gbit/s, and of one useful signal #2 of 10 Gbit/s  
15 into a carrier signal of 40 Gbit/s. The sequence of 4 useful signals are [sic] repeated correspondingly four times in the superimposition of 4 useful signals, in order to fill up a multiframe MF. It is evident that in the case of the 16 superframes used per multiframe MF  
20 the multiframe indicator MFI must have at least 16 values, for which reason it is represented by a 4-bit number. In cases in which only 4 useful signals, as illustrated in signal section 101, are present, only the last 2 bits of the multiframe indicator MFI are  
25 interpreted as an assignment indicator for the useful signal, that is to say the residue of a modulo 4 inspection is used.

Table 1 shows the binary representation of the multiframe indicator MFI, composed of the bits  $M_3, M_2, M_1, M_0$  in the first four columns. The fifth column shows  
30 the number of the useful signal for the case in which 4 useful signals are superimposed in a carrier signal (corresponding to the signal section 101). Column 6 shows the useful signal numbering for the case in which 16 useful signals are superimposed in a carrier signal  
35 (corresponding to signal section 102), and column 7 shows the mixed superimposition of 12 signals at 2.5 Gbit/s and one signal at 10 Gbit/s in a carrier signal of 40 Gbit/s (corresponding to signal section

103). Column 8 shows the number of the multiframe MF beginning with the starting value i.

**Table 1:**

Multiframe indicator MFI				Description			
M <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>0</sub>	4x2.5 G → 10 G 4x10 G → 40 G	16x2.5 G → 40 G	a × 2.5 G + b × 10 G → 40 G	OCh MF#
0	0	0	0	Useful signal #1	Useful signal #1	Useful signal #1 (2.5 G)	i
0	0	0	1	Useful signal #2	Useful signal #2	Useful signal #2 (10 G)	i+1
0	0	1	0	Useful signal #3	Useful signal #3	Useful signal #3 (2.5 G)	i+2
0	0	1	1	Useful signal #4	Useful signal #4	Useful signal #4 (2.5 G)	i+3
0	1	0	0	Useful signal #1	Useful signal #5	Useful signal #5 (2.5 G)	i+4
0	1	0	1	Useful signal #2	Useful signal #6	Useful signal #2 (10 G)	i+5
0	1	1	0	Useful signal #3	Useful signal #7	Useful signal #7 (2.5 G)	i+6
0	1	1	1	Useful signal #4	Useful signal #8	Useful signal #8 (2.5 G)	i+7
1	0	0	0	Useful signal #1	Useful signal #9	Useful signal #9 (2.5 G)	i+8
1	0	0	1	Useful signal #2	Useful signal #10	Useful signal #2 (10 G)	i+9
1	0	1	0	Useful signal #3	Useful signal #11	Useful signal #11 (2.5 G)	i+10
1	0	1	1	Useful signal #4	Useful signal #12	Useful signal #12 (2.5 G)	i+11
1	1	0	0	Useful signal #1	Useful signal #13	Useful signal #13 (2.5 G)	i+12
1	1	0	1	Useful signal #2	Useful signal #14	Useful signal #14 (10 G)	i+13
1	1	1	0	Useful signal #3	Useful signal #15	Useful signal #15 (2.5 G)	i+14
1	1	1	1	Useful signal #4	Useful signal #16	Useful signal #16 (2.5 G)	i+15

As illustrated in Figure 2 and Table 1, each superframe SF is assigned exactly one useful signal. In this assigned superframe, stuff locations 105 are now provided for rate matching of the relevant useful  
5 signal. These stuff locations 105 are also noted as negative stuff opportunities. Figure 3 shows the arrangement of the data in the overhead OH and a 5-byte section SPE from the useful data section of the temporary third frame of a superframe. The OCh frame is  
10 designed for a parallel architecture of 16 rows. The first 8 rows of the overhead OH are the bytes X3\_1 to X3\_8. These 8 bytes already contain regular data of the path layer overhead of the optical channel. According to the invention, the rows 9 to 12 of the overhead OH  
15 (bytes X3\_9 to X3\_12) contain the stuff monitoring management information 104 for the *i*th useful signal, which also comprises the multiframe indicator MFI. In this case, according to Table 1 the value of the indicator MFI depends on the number of the useful  
20 signal, which is assigned to a specific superframe SF. The rows 13 to 16 of the overhead OH (four bytes X3\_13 to X3\_16) contain the stuff locations 105 or negative stuff opportunities. Exactly one useful signal is stuffed in each superframe, and the assignment of the  
25 stuff locations 105 to the associated useful signal is reconstituted after the transmission by means of the multiframe indicator MFI. Columns 2 to 6 show a section of the useful data blocks RP (regular payload) in which the main part of the useful data are stored. The  
30 bracketed plus sign in the second column symbolizes that the bytes are used as positive stuff opportunities, that is to say when the rate of the useful signal is less than the rate of the carrier signal predetermined values are stored here instead of  
35 the useful data.

Figure 4 shows, in correspondence to Figure 3, a section of the temporally third frame in the superframe for the superimposition of 16 useful signals in a carrier signal in accordance with column 6 in

Table 1. Figure 5 shows a corresponding illustration for the mixed superimposition of 13 useful signals in accordance with column 7 in Table 1.

As illustrated in Figures 3 to 5, for a  
5 predetermined useful signal #i  $N_s = 4$  stuff bytes (X3\_13 to X3\_16) for the negative stuff are reserved in a predetermined superframe of the optical channel. In order to render the stuff as simple as possible, excess  
10 useful data are temporarily stored and not stuffed until one or four bytes which are to be completely stuffed come together.

The maximum frequency deviation to be mastered between a useful signal and the carrier signal and which can still be compensated by stuffing is  
15 calculated below. The frequency deviation which can be processed is essentially determined by the number of available stuff bytes  $N_s$ . In principle, the processable frequency deviation  $\Delta f_0$  can be expressed by the following equation

20 
$$\Delta f_0 = N_s / N_{och}$$

$N_s = 4$  and  $N_{och}$  being the number of the useful data bytes. Furthermore, the number of the bytes per useful signal in an OCh superframe SF is

$$N_{och; SF} = 4 \times 238 \times 4 = 3808$$

25 and the number of the bytes of a useful signal (modulo 4 alternative) per multiframe MF is

$$N_{och; MF} = N_{och; SF} \times 4 = 15232.$$

Thus, the maximum processable frequency deviation for four stuff bytes is

30 
$$\Delta f_{0.4\text{byte}} = N_s / N_{och; MF} = 1 / N_{och; SF} = 262 \text{ ppm.}$$

This value holds for all described mapping examples. A comparison of the period durations is illustrated in Table 2 for various input and output data rates.



**Table 2:**

Application		Period of the OCh super-frame	Period duration of the OCh multi-frame (4 bit MFI)	Number of the stuff bytes per useful signal in an OCh multiframe	Ratio $R = (T_{MF}/T_{SF}) \times (\text{useful signal} / \text{carrier signal})$
Useful signal	Carrier signal	$T_{SF}$	$T_{MF}$	$N_S$	
2.5 G	10 G	12.24 $\mu s$	48.96 $\mu s$	4	$C_1 = \text{const.} = 1$
2.5 G	40 G	3.06 $\mu s$	48.96 $\mu s$	4	$C_2 = \text{const.} = 1$
10 G	40 G	3.06 $\mu s$	12.24 $\mu s$	4	$C_3 = \text{const.} = 1$

Since the ratio  $R$  is constant, the value  $\Delta f_0$  is valid for all mapping examples described.

#### Control for the data matching

Two bits are provided per useful signal for the purpose of controlling the stuffing. The meaning of the values of the stuff control bits  $C_0$  and  $C_1$  is illustrated in Table 3. Here, positive stuff means that the rate of the useful signal is less than the rate of the carrier signal, with the result that not all useful data positions are occupied in the superframe. Negative stuff is required when the rate of the useful signal is higher than the rate of the carrier signal, with the result that the useful data areas of the superframe do not suffice to accommodate all bits of the corresponding useful signal. The excess bits are then temporarily stored in the transmitter until 4 bytes have come together, since stuffing is done in a 4-byte fashion.

**Table 3:**

Stuff control bits		Description
C <sub>1</sub>	C <sub>0</sub>	
0	0	"0": No stuff
0	1	"+1": Positive stuff
1	0	No stuff
1	1	"-1": Negative stuff

Error detection and error correction

5           It is decisive for the rate matching according to the invention that the stuff control information, that is to say the stuff control bits C<sub>1</sub>, C<sub>0</sub> and the multiframe indicator MFI are reliable at all times. Otherwise, the desynchronizer of each specific useful  
10 signal loses its phase alignment, and the useful signal is destroyed for the corresponding multiframe.

A simple and simultaneously effective approach is for the rate matching management information 104, that is to say the multiframe indicator data MFI, the  
15 stuff control bits CRA, the signalling and alarm bits SAI and further phase information to be arranged as is illustrated in Figure 6. Figure 6 shows the path layer overhead bytes X3\_9 to X3\_12 in which the stuff management information 104 is stored and broken down  
20 according to its bits. The arrangement starts with the most significant bit. The 4 bytes X3\_9 to X3\_12 are subdivided as follows into 5 sections.

1.   Multiframe indicator MFI
2.   Control information for the rate matching CRA
- 25 3.   Error detection and correction EDC
4.   Signalling and alarm indication SAI
5.   Rate matching extension RAE.

This arrangement is particularly advantageous, since the layer of the optical channel is already  
30 protected by a byte-multiplexed Reed-Solomon coding (RS(255, 239, 17)-coding) which is known to the person skilled in the art. It [lacuna] evident to the person

skilled in the art that the multiframe indicator MFI also achieves an assignment of the control information for the rate matching CRA, the error detection and correction data EDC, the signalling and alarm indication SAI and the rate matching extension RAE to the associated useful signal.

In addition to the error correction abilities of the Reed-Solomon coding, which is used for the optical channel layer, Hamming coding (HC coding) is also applied to the stuff control information, that is to say to the MFI and CRA.

The applied error correction code ECC is applied as a doubly interleaved abbreviated Hamming code HC(6,3,3) for the error detection and correction EDC. It holds for the HC coding that:

$n = 6$  (length of the code word)

$k = 3$  (length of the message)

$m = n - k = 3$  (number of the control or monitoring bits)

$d_{\min} = 3$  (minimum bit error spacing)

$t_{\text{correct}} = 1$  (error correction ability)

$t_{\text{detect}} = 0$  (additional error detection ability).

This coding is able to correct an individual bit error, but cannot simultaneously detect further errors. The generator matrix  $\mathbf{G}$  of the HC coding used is

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

the associated transposed parity check matrix  $\mathbf{H}^T$  is

$$\mathbf{H}^T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ and} \quad (2)$$

the associated decoder matrix  $D$  is

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

- 5           The following terms represent vectors, or  
matrices of dimension  $[a \times b]$ ,  $a$  being the number of  
rows and  $b$  the number of columns. It holds that
- $\mathbf{v}$        =  $(v_2, v_1, v_0)$            (message,  $[1 \times 3]$ )
- $\mathbf{G}$                                    (generation matrix,  $[3 \times 6]$ )
- 10  $\mathbf{y}$        =  $(y_5, y_4, y_3, y_2, y_1, y_0)$    (code word,  $[1 \times 6]$ )  
          =  $\mathbf{v} \otimes \mathbf{G}$
- $\mathbf{e}$        =  $(e_5, e_4, e_3, e_2, e_1, e_0)$    (error vector in accordance  
  with AWGN channel,  $[1 \times 6]$ )
- $\mathbf{r}$        =  $(r_5, r_4, r_3, r_2, r_1, r_0)$    (received faulty code  
15       =  $\mathbf{y} \oplus \mathbf{e}$                    vector, according to AWGN  
  channel,  $[1 \times 6]$ )
- $\mathbf{H}^T$                                (parity check matrix,  
   $[6 \times 3]$ )
- $\mathbf{s}$        =  $(s_2, s_1, s_0)$            (syndrome,  $[1 \times 3]$ )  
20       =  $\mathbf{r} \otimes \mathbf{H}^T$
- $\mathbf{c}$        =  $(c_5, c_4, c_3, c_2, c_1, c_0)$    (error correction pattern,  
  determined by the syndrome,  
   $[1 \times 6]$ )
- $\mathbf{D}$                                    (decoder matrix,  $[6 \times 3]$ )
- 25  $\mathbf{u}$        =  $(u_2, u_1, u_0)$            (decoded received message,  
          =  $(\mathbf{r} \oplus \mathbf{c}) \otimes \mathbf{D}$         $[1 \times 3]$ )

The detection and correction now depend on the  
calculated syndrome, two distinctions being made here:

1.       The syndrome is equal to zero,  
30       which is interpreted to the effect that a valid  
code vector has been received, and that  
therefore there is no need for error  
correction, that is to say it is assumed that  
no error is present.

2. The syndrome is not equal to zero,  
in which case it is assumed that an individual  
bit error is present and can be corrected.

Table 4 shows the assignment between the  
5 syndrome vector **s** and the derived error correction  
pattern **c**.

**Table 4:**

Syndrome <b>s</b>			Derived error correction pattern <b>c</b>					
<b>s<sub>2</sub></b>	<b>s<sub>1</sub></b>	<b>s<sub>0</sub></b>	<b>c<sub>5</sub></b>	<b>c<sub>4</sub></b>	<b>c<sub>3</sub></b>	<b>c<sub>2</sub></b>	<b>c<sub>1</sub></b>	<b>c<sub>0</sub></b>
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0	1

Table 5 further shows eight different bit error ratios before and after the Reed-Solomon coding/decoding, but before the HC decoding. The first numerical value, that is to say a bit error ratio of  $10^{-3}$ , is the "worst case".

**Table 5:**

Bit error ratio before the HC decoding	
without RS FEC (before the RS decoding)	with RS FEC (after the RS decoding)
$10^{-3}$	$5.0 \times 10^{-5}$
$5.0 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-6}$
$2.0 \times 10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-9}$
$10^{-4}$	$2.0 \times 10^{-13}$
$10^{-5}$	$6.3 \times 10^{-24}$
$10^{-6}$	$6.4 \times 10^{-33}$
$10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-40}$

10

After the Reed-Solomon (RS) decoding, a bit error ratio BER of approximately  $P_{\text{och,RS}} = 5 \times 10^{-5}$  is obtained from the  $10^{-3}$ . Since the number of bits in a frame of the optical channel, which is protected by the RS coding, is  $N_{\text{och}} = 16 \times 8 \times 255 = 32648$ , a mean number of faulty bits in a frame of the optical channel is obtained as

$$N_{\text{och,err}} = N_{\text{och}} \times P_{\text{och,RS}} = 32638 \times 5 \times 10^{-5} = 1.6424$$

15

thus less than two.

The simplifying, but justified approximation is made below that the errors have a binomial distribution. The binomial distribution for the probability of  $k$  bit errors in a Hamming code word of length 6 bits ( $N_{HC} = 6$ ) with a bit error ratio or a bit error probability  $P_{err}$  is

$$B(N_{HC}, k, P_{err}) = \binom{N_{HC}}{k} \cdot P_{err}^k \cdot (1 - P_{err})^{N_{HC} - k} \quad (4)$$

10

Moreover, Table 6 shows by way of example some probabilities for selected bit error ratios of the optical channel. In the table, column 1 shows the bit error ratio after RS decoding, column 2 shows the binomial distribution for the case  $k = 0$ , column 3 shows the binomial probability for the case  $k > 0$ , column 4 shows the case  $k > 1$  and column 5  $k < 1$ , in each case after the RS coding/decoding but before the HC decoding inside a Hamming code word. Since the Hamming coding/decoding can be used to correct up to one error per code word, the fifth column ( $k > 1$ ) shows the probability for the case that the Hamming coding/decoding does not lead to the desired success, that is to say the errors cannot be corrected.

20

**Table 6:**

P <sub>och,RS</sub> (BER after the RS de- coding)	Probability for a specific number of bit errors [mathematical relationship] in a Hamming code word) [sic]			
	1 - [>0]	[>0]	1 - [>1]	[>1]
	[0] "no errors"	[1,2,3,4,5,6] "one or more errors"	[0,1] correctable "less than 2 errors"	[2,3,4,5,6] non- correctable "2 or more errors"
1.00E-03	9.94014980E-01	5.98501999E-03	9.99985040E-01	1.49600450E-05
1.00E-04	9.99400150E-01	5.99850020E-04	9.9999850E-01	1.49960004E-07
5.00E-05	9.99700037E-01	2.99962502E-04	9.9999963E-01	3.74950002E-08
1.00E-05	9.99940001E-01	5.99985000E-05	9.9999999E-01	1.49995971E-09
1.00E-06	9.99994000E-01	5.99998500E-06	1.00000000E+00	1.50001123E-11
1.00E-07	9.99999400E-01	5.99999850E-07	1.00000000E+00	1.49658064E-13
1.00E-08	9.99999940E-01	5.99999987E-08	1.00000000E+00	1.77635684E-15
2.00E-09	9.99999988E-01	1.20000002E-08	1.00000000E+00	3.33066907E-16
1.00E-09	9.99999988E-01	1.19999995E-08	1.00000000E+00	2.22044605E-16
1.00E-10	9.99999999E-01	1.20000010E-09	1.00000000E+00	1.11022302E-16
2.00E-13	1.00000000E+00	1.19970700E-12	1.00000000E+00	2.22044605E-16

A non-correctable error occurs in the  
multiframe indicator MFI or in the control information  
5 for the rate matching CRA when an error remains in an  
HC code word after the HC decoding. The probability for  
a number of n errors in the code word #i is

$$P_i\{X = n\} = P\{n, \#i\} = B(N_{HC}, P_{och,RS}, n)$$

Consequently, the probability of having no  
10 error in one of the two HC code words (after HC  
decoding) is

$$\begin{aligned} P_{ok} &= P_1\{X = 0\} \cdot P_2\{X = 0\} + \\ &P_1\{X = 0\} \cdot P_2\{X = 1\} + \\ &P_1\{X = 1\} \cdot P_2\{X = 0\} + \\ &P_1\{X = 1\} \cdot P_2\{X = 1\} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} &= B(6, P_{Och, RS}, 0) \cdot B(6, P_{Och, RS}, 0) + \\ &\quad B(6, P_{Och, RS}, 0) \cdot B(6, P_{Och, RS}, 1) + \\ &\quad B(6, P_{Och, RS}, 1) \cdot B(6, P_{Och, RS}, 0) + \\ &\quad B(6, P_{Och, RS}, 1) \cdot B(6, P_{Och, RS}, 1) + \\ 5 \quad &= [B(6, P_{Och, RS}, 0) \cdot B(6, P_{Och, RS}, 1)]^2 + \end{aligned}$$

and the probability of a non-correctable error is

$$P_{fail} = 1 - P_{ok}.$$

A further investigated property of the transmission system and method according to the invention is the probability of a false stuffing decision. The following holds for the mean time between such a false decision and a disturbance, following thereupon, in the associated useful signal.

$N_{Och} = 81680$  Och frames are transmitted in a period with a duration of one second. For the example illustrated in column 5 in Table 1 (modulo 4 mapping), it holds because of the time-slot multiplex method used that  $N_{Och, client} = N_{Och}/4 = 20420$  Och frames are transmitted per useful signal with stuff information relating to this special useful signal. It follows from this that the mean time between errors is

$$MTBF = 1/(P_{fail} \cdot N_{Och, client}).$$

Table 7 shows the mean time between errors MTBF for a selection of the bit error ratios BER shown in Table 6. The actual mean time between errors is shown even lower than in Table 7, since in calculating the table no distinction is made between errors in the MFI/CRA bits and the parity bits  $E_0$  to  $E_5$ . An error in the parity bits is, however, unimportant. Column 1 of Table 7 shows the probability of a bit error before the RS decoding, column 2 shows the probability of a bit error after the RS decoding, column 3 shows the probability of the failure of the correction by means of the Hamming decoding, and column 4 shows the mean time, resulting from column 3, between remaining errors.

**Table 7:**

P <sub>Ch,RS</sub> (BER before the RS de- coding)	P <sub>Ch,RS</sub> (BER after the RS de- coding)	P <sub>fail</sub> "non correctable" at least 2 errors in one HC (6,3,3) code word before the HC decoding	MTBF "time between error [sic] in the code words after correction by means of the HC (6,3,3) coding/decoding
1.00E-03	5.00E-05	7.4990E-08	> 10.88 min
5.00E-04	1.00E-06	3.0000E-11	> 18.89 days
2.00E-04	2.00E-09	8.8818E-16	> 1748 years
1.00E-04	2.00E-13	< 4.4409E-16	> 3497 years

With reference to the optical light wave system (OLS) system information (in accordance with the specification of Lucent Technologies), the bit error ratio in a OLS system must be smaller than  $10^{-15}$  after and, consequently, smaller than  $10^{-5}$  before the RS decoding. The 16-fold interleaved RS code can correct 8 symbols, and is therefore quite robust as regards error bursts, since it is capable of correcting error bursts of length  $N = 16 \times 8 \times 8 = 1.024$  bits. The required specifications with the transmission system and method according to the invention are thereby achieved. Nevertheless, error scenarios and appropriate means for alarm indication in the case of an error are described below together with the measures following therefrom.

The generation of the 6-bit long Hamming HC (6,3,3) code words (systematic coding) is represented in Figure 7. Row 1 shows the bit position in the Hamming code word, the multiframe indicator values  $M_3$  and  $M_1$ , respectively, being arranged in bits Nos. 5 and 4, and control information for the rate matching  $C_0$  being arranged in bit No. 3. Protective information bits Nos. 2, 1 and 0 carry the error detection and correction information  $E_1$ ,  $E_3$ ,  $E_4$ . The second Hamming code word is illustrated in Figure 8, and is constructed in a fashion similar to the first

Hamming code word. In the sequence illustrated, it bears the data  $M_2$ ,  $M_0$ ,  $C_1$ ,  $E_5$ ,  $E_2$  and  $E_0$ , starting with the most significant bit.

Furthermore, as shown in the fourth column of Figure 6, four bits are used for the signalling and alarm indication SAI. These are denoted by  $S_3$ ,  $S_2$ ,  $S_1$  and  $S_0$ . They bear the signalling information for each useful or secondary signal. Their meaning is shown in Table 8.

10

**Table 8:**

Signalling and alarm bits				Meaning	Hex
$S_3$	$S_2$	$S_1$	$S_0$		
0	0	0	0	OCI: Indication for open connection (that is to say unequipped)	0
0	0	0	1	Normal operating mode, OC-48 equipped (standard)	1
0	0	1	0	Normal operating mode, clear-channel equipped (with OC-48 rate)	2
0	0	1	1	Temporarily unused	3
0	1	0	0	Temporarily unused	4
0	1	0	1	Temporarily unused	5
0	1	1	0	Temporarily unused	6
0	1	1	1	Temporarily unused	7
1	0	0	0	Temporarily unused	8
1	0	0	1	Temporarily unused	9
1	0	1	0	Temporarily unused	A
1	0	1	1	Temporarily unused	B
1	1	0	0	Temporarily unused	C
1	1	0	1	Temporarily unused	D
1	1	1	0	Temporarily unused	E
1	1	1	1	FDI: "Forward error indication"	F

The temporarily unused signalling bits are reserved for future applications.

15

Furthermore, 16 bits are provided in the stuff management area for rate matching extension RAE, as is

illustrated in the fifth to eighth columns (bits 3, 2, 1, 0) in Figure 6. This rate matching extension RAE contains additional information on the short-period rate fluctuations (jitter) and the long-period rate fluctuations (wander), and ensures that these have good properties through known methods of digital signal processing. For this purpose, 16 bits are reserved in the overhead OH of each superframe. The illustration of these 16 bits is shown in Figure 9.

10           The transmission system advantageously tolerates the following frequency deviations:

1. A maximum deviation in the data rate of the tributary  $f_{\text{Trib}}$  (OC-48) (a deviation of  $\pm 20$  ppm relates to the useful signal, and one of  $\pm 4.7$  ppm relates to the local reference clock)

$$f_{\text{Trib}} < \pm 25 \text{ ppm}$$

2. and a maximum deviation in the transmit data rate  $f_{\text{Och}}$  (OCh-10G)

$$f_{\text{Och}} < \pm 50 \text{ ppm.}$$

20           The ASIC ( $J_G$ ) tolerates a jitter generation of

- a)  $J_G < 0.01 \text{ UI}_{\text{rms}}$  (in accordance with ITU-T G.958, p. 13, Section 5.3.1, bandpass [12 kHz ... 2 MHz]) and
- b)  $J_G < 0.1 \text{ UI}_{\text{pp}}$  (in accordance with ITU-T G.813, Section 7.3, Option 2, bandpass [12 kHz ... 2 MHz]).

30           It holds for a network element concatenation that  $N_{\text{MD}} + N_{\text{LR}} \leq 76$ ,  $N_{\text{MD}}$  being the number of the multiplex-demultiplex combinations, and  $N_{\text{LR}}$  being the number of optical translator units (OTU) in the line regenerator mode (LR). The jitter  $J_{\text{NEL}}$ , which is generated at the end of the chain, fulfils the following network limiting values

- a)  $J_{\text{NEL}} < 0.15 \text{ UI}_{\text{rms}}$  (ITU-T G.825, Table 1, Section 3.1,  $[f_3 \dots f_4] = [1 \text{ MHz} \dots 20 \text{ MHz}]$ ) and
- b)  $J_{\text{NEL}} < 1.5 \text{ UI}_{\text{pp}}$  (ITU-T G.825, Table 1, Section 3.1,  $[f_1 \dots f_4] = [5 \text{ MHz} \dots 20 \text{ MHz}]$ ).

          The long-period frequency fluctuations (wander) fulfil the specifications TDEV (time deviation

(wander)) and MTIE (mean time interval error (wander)) of the Telcordia GR-253 Core Standard (see Figure 5-17 or Figure 5-18 of the cited standard), which is hereby rendered in full measure the subject matter of the  
5 description.

With reference to Figure 9, the bits  $R_{13}$  to  $R_0$  are interpreted as a whole number  $R$  in a two's complement representation. This number bears further phase information with reference to the corresponding  
10 useful signal.

The two parity bits  $P_1$ ,  $P_0$  have the same value  $P$ . The value  $P$  represents an even parity with reference to the bits  $R_{13}$  to  $R_0$ .

The number of bytes which is reserved for the  
15 rate matching information is therefore equal to 8, which is composed of the 4 bytes for the stuff control management information 104 and the 4 stuff bytes. According to the invention, these 8 bytes are kept free in the path layer overhead of the optical channel in  
20 the temporally third OCh frame of each superframe, that is to say in the bytes  $X3_9$  to  $X3_{16}$ .

It is evident to the person skilled in the art that the described advantageous embodiment of the invention is to be understood only in an exemplary  
25 fashion, and that modifications may be made therein without departing from the scope of the invention.

Patent claims

1. Transmission system for the frame-oriented transmission of digital data by means of a carrier  
5 signal (101, 102, 103) using time-division multiplex operation, in which  
the carrier signal comprises at least one first useful signal (#1), and  
there are different data rates between the  
10 carrier signal (101, 102, 103) and the first useful signal (#1),  
first useful data of the first useful signal (#1) can be embedded in useful data sections (RP) of a first superframe (SF), second useful data of the first  
15 useful signal (#1) can be embedded in stuff locations (105) in the first superframe (SF) in order to achieve rate matching between the carrier signal (101, 102, 103) and the first useful signal (#1), and  
first indicator data (MFI) can be embedded in  
20 the first superframe (SF), with the aid of which first indicator data (MFI) is it possible to assign the second useful data to the first useful signal (#1).  
2. Transmission system according to Claim 1, in which  
25 the carrier signal comprises at least one further second useful signal (#2), and  
there are different data rates between the carrier signal (102 [sic], 102, 103) and the second useful signal (#2),  
30 third useful data of the second useful signal (#2) are embedded in the first superframe (SF) and  
fourth useful data of the second useful signal (#2) can be embedded in stuff locations (105) in a second superframe (SF), in order to achieve rate  
35 matching between the carrier signal (101, 102, 103) and the second useful signal, and  
second indicator data (MFI) are embedded in the second superframe (SF), with the aid of which second

indicator data (MFI) the fourth useful data can be assigned to the second useful signal (#2).

3. Transmission system according to one of the preceding claims, in which the first, in particular  
5 each superframe (SF) comprises a plurality of frames, in particular four frames according to the ITU-T G.975 Standard.

4. Transmission system according to Claim 3, in which the first, in particular each frame comprises an  
10 overhead (OH), and indicator data (MFI) are embedded in the overhead (OH), in particular in a path layer overhead (POH).

5. Transmission system according to one of the preceding claims, in which indicator data (MFI) for  
15 each useful signal (#1, #2, ..., #16) are not contained in the first superframe (SF).

6. Transmission system according to one of the preceding claims, in which stuff locations (105) for  
20 useful data of each useful signal (#1, #2, ..., #16) are not reserved in each superframe (SF).

7. Transmission system according to one of the preceding claims, in which indicator data (MFI) for  
assigning useful data to only the first useful signal (#1) are embedded in the first superframe (SF).

25 8. Transmission system according to one of the preceding claims, in which stuff locations (105) for useful data only of the first useful signal (#1) are reserved in the first superframe (SF).

9. Transmission system according to one of the  
30 preceding claims, in which stuff locations (105) for useful data of at most one useful signal (#1) are reserved in each superframe (SF).

10. Transmission system according to one of the preceding claims, in which each superframe (SF), in  
35 particular the overhead (OH) of the temporary third frame in the superframe (SF), has stuff locations (105) and a region for embedding the indicator data (MFI).

11. Transmission system according to one of the preceding claims, in which a plurality of, in

particular four or sixteen superframes (SF) are combined to form a multiframe (MF).

12. Transmission system according to one of the preceding claims, in which each useful signal (#1, #2, ..., #16) can be assigned to a superframe of a multiframe (MF) by means of indicator data (MFI) which are embedded in the superframe, and stuff locations (105) for only the assigned useful signal are provided in the assigned superframe (SF).

13. Transmission system according to one of the preceding claims, in which the useful data sections (RP) to be stuffed are temporarily stored and/or embedded in four-byte fashion in the stuff locations (105).

14. Transmission system according to one of the preceding claims, in which the stuff locations (105) and indicator data (MFI) together occupy at most eight bytes, and/or the indicator data (MFI) occupy at most four bits per superframe (SF).

15. Transmission system according to one of the preceding claims, in which the indicator data (MFI) are protected by means of a code, in particular a Hamming code (HC(6,3,3)).

16. Transmission system according to one of the preceding claims, in which the data transmission is data-transparent and/or time-transparent.

17. Method for the frame-oriented transmission of digital data of a carrier signal (101, 102, 103) using time-division multiplex operation, in which

the carrier signal comprises at least one first useful signal (#1),

there are different data rates between the carrier signal (101, 102, 103) and the first useful signal (#1),

first useful data of the first useful signal (#1) can be embedded in useful data sections (RP) of a first superframe (SF), second useful data of the first useful signal (#1) can be embedded in stuff locations (105) in the first superframe (SF) in order to achieve



rate matching between the carrier signal (101, 102, 103) and the first useful signal (#1), and

first indicator data (MFI) can be embedded in the first superframe (SF), with the aid of which first  
5 indicator data (MFI) it is possible to assign the second useful data to the first useful signal (#1).

Abstract

The invention relates to a data transmission system for the frame-oriented digital data transmission of a plurality of useful signals embedded in a carrier signal, using time-division multiplex operation, rate matching being undertaken between the useful signals and the carrier signal by means of stuff locations. The data to be stuffed, and the management information for the reassignment are embedded in previously unused 8 bytes in the path layer overhead of the carrier signal superframe, and protected by an HC(6,3,3) code. Clear channel signals can advantageously be transmitted using the system, and the transmission is time-transparent and data-transparent.

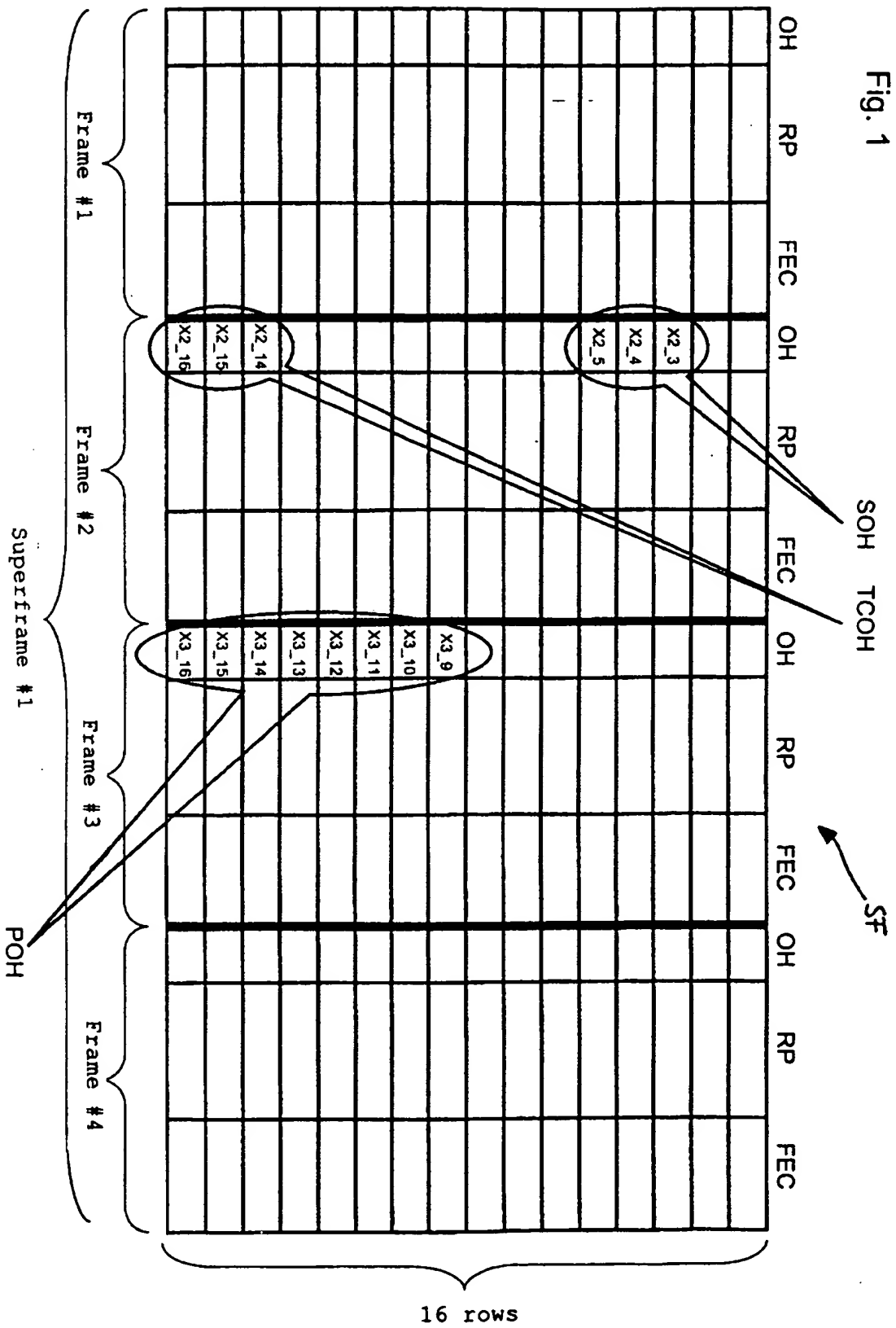
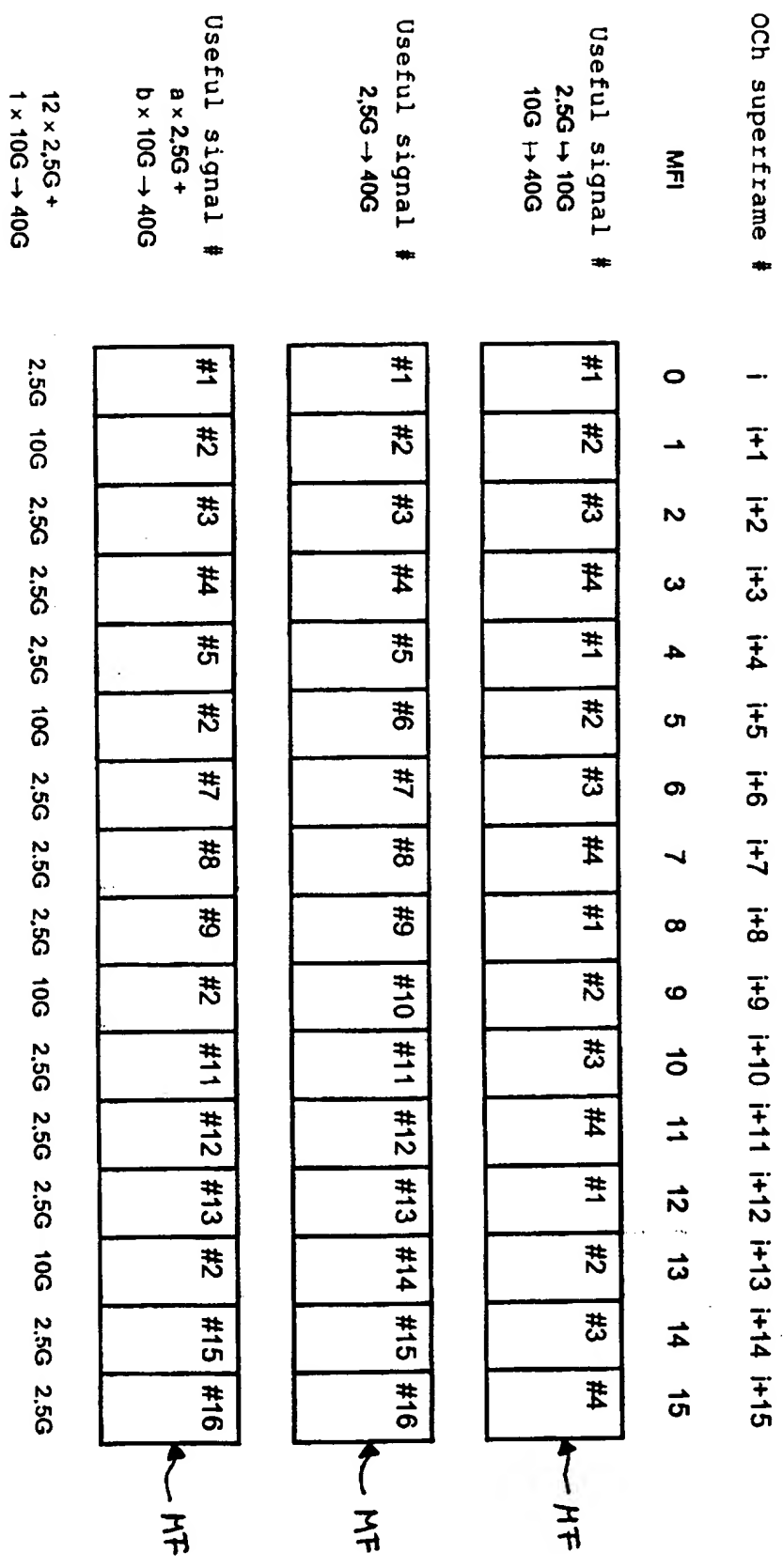
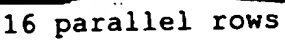


Fig. 2





( 4 - 6 )

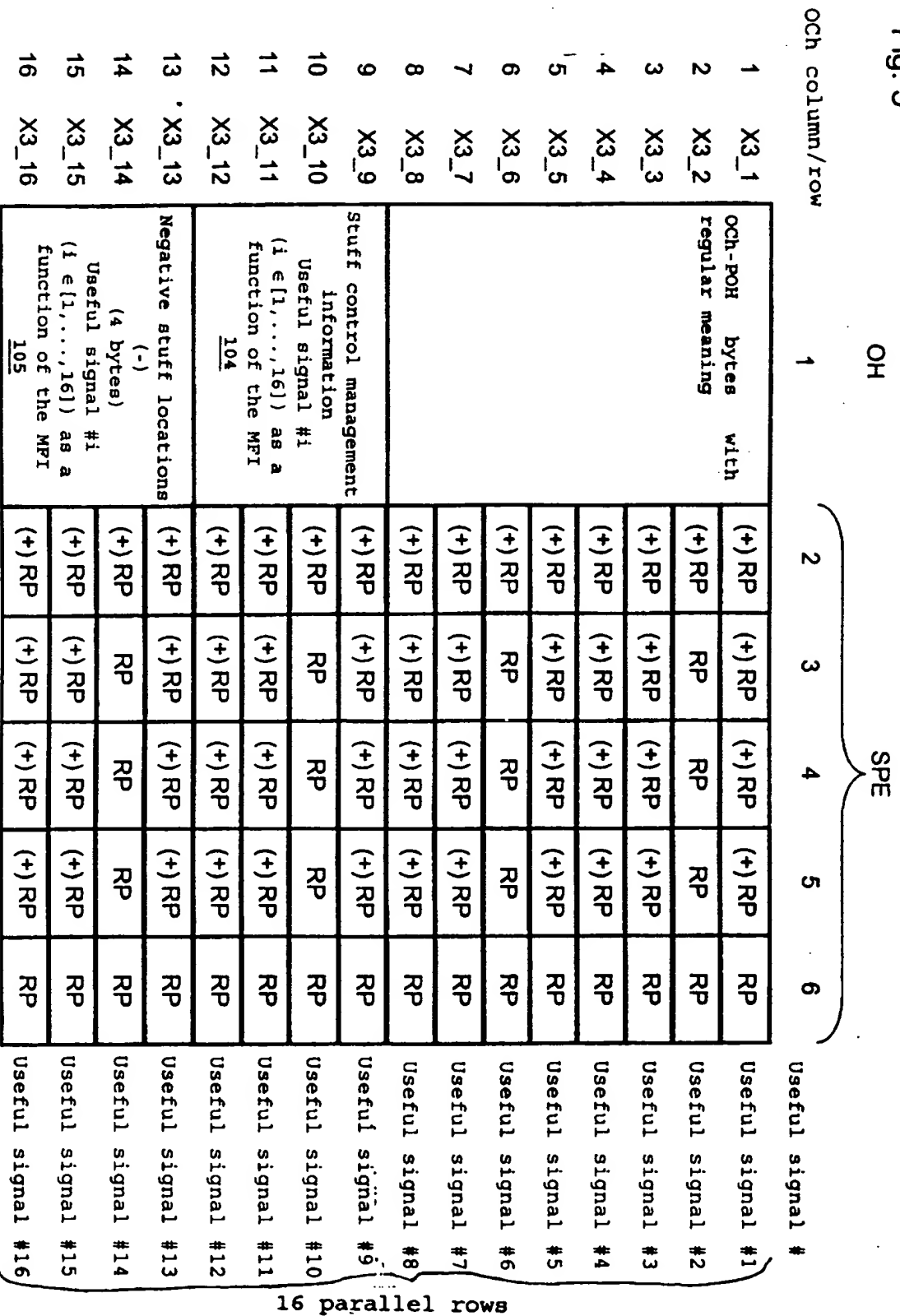
Fig. 4

OH		SPE						Useful signal #
Och column/row	1	2	3	4	5	6		
1 X3_1	Och-POH bytes with regular meaning	(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Useful signal #1	
2 X3_2		(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Useful signal #2	
3 X3_3		(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Useful signal #3	
4 X3_4		(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Useful signal #4	
5 X3_5		(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Useful signal #5	
6 X3_6		(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Useful signal #6	
7 X3_7		(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Useful signal #7	
8 X3_8		(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Useful signal #8	
9 X3_9		Stuff control management information Useful signal #i (i ∈ [1,...,16]) as a function of the MFI 104	(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Useful signal #9
10 X3_10			(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Useful signal #10
11 X3_11			(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Useful signal #11
12 X3_12			(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Useful signal #12
13 X3_13		Negative stuff locations (-) Useful signal #i (i ∈ [1,...,16]) as a function of the MFI 105	(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Useful signal #13
14 X3_14			(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Useful signal #14
15 X3_15			(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Useful signal #15
16 X3_16			(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Useful signal #16

16 parallel rows

(5-6)

Fig. 5



( 6 - 6 )

Fig. 6

Bit #	7	6	5	4	3	2	1	0
	MFI CRA	CRA EDC	EDC	SAI	RAE			
Byte # X3_9	M <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	E <sub>3</sub>	S <sub>3</sub>	R <sub>15</sub>	R <sub>11</sub>	R <sub>7</sub>	R <sub>3</sub>
Byte # X3_10	M <sub>2</sub>	C <sub>0</sub>	E <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	R <sub>14</sub>	R <sub>10</sub>	R <sub>6</sub>	R <sub>2</sub>
Byte # X3_11	M <sub>1</sub>	E <sub>5</sub>	E <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	R <sub>13</sub>	R <sub>9</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>1</sub>
Byte # X3_12	M <sub>0</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	R <sub>12</sub>	R <sub>8</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>0</sub>

Fig. 7

Position	5	4	3	2	1	0
Meaning	MFI		CRA	Protective information bits		
HC	M <sub>3</sub>	M <sub>1</sub>	C <sub>0</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>1</sub>

Fig. 8

Position	5	4	3	2	1	0
Meaning	MFI		CRA	Protective information bits		
HC	M <sub>2</sub>	M <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	E <sub>5</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>0</sub>

Fig. 9

Bit #	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Meaning	Parity		Rate matching extension RAE													
	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	R <sub>13</sub>	R <sub>12</sub>	R <sub>11</sub>	R <sub>10</sub>	R <sub>9</sub>	R <sub>8</sub>	R <sub>7</sub>	R <sub>6</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>0</sub>





**Europäisches  
Patentamt**

**European  
Patent Office**

**Office européen  
des brevets**

JC978 U.S. PTO  
09/865065  
05/24/01

**Bescheinigung**

**Certificate**

**Attestation**

Die angehefteten Unterla-  
gen stimmen mit der  
ursprünglich eingereichten  
Fassung der auf dem näch-  
sten Blatt bezeichneten  
europäischen Patentanmel-  
dung überein.

The attached documents  
are exact copies of the  
European patent application  
described on the following  
page, as originally filed.

Les documents fixés à  
cette attestation sont  
conformes à la version  
initialement déposée de  
la demande de brevet  
européen spécifiée à la  
page suivante.

**Patentanmeldung Nr.    Patent application No.    Demande de brevet n°**

00111539.3

Der Präsident des Europäischen Patentamts;  
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets  
p.o.

**I.L.C. HATTEN-HECKMAN**

DEN HAAG, DEN  
THE HAGUE,    27/02/01  
LA HAYE, LE

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



Europäisches  
Patentamt

European  
Patent Office

Office européen  
des brevets

**Blatt 2 der Bescheinigung  
Sheet 2 of the certificate  
Page 2 de l'attestation**

Anmeldung Nr.:  
Application no.:  
Demande n°: 00111539.3

Anmeldetag:  
Date of filing: 30/05/00  
Date de dépôt:

Anmelder:  
Applicant(s):  
Demandeur(s):  
Lucent Technologies Inc.  
Murray Hill, New Jersey 07974  
UNITED STATES OF AMERICA

Bezeichnung der Erfindung:  
Title of the invention:  
Titre de l'invention:  
Digitales datenübertragungssystem

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:  
State:  
Pays:

Tag:  
Date:  
Date:

Aktenzeichen:  
File no.  
Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:  
International Patent classification:  
Classification internationale des brevets:

H04J3/16

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten:  
Contracting states designated at date of filing: AT/BE/CH/CY/DE/DK/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/PT/SE/UK  
Etats contractants désignés lors du dépôt:

Bemerkungen:  
Remarks:  
Remarques:

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

30-05-2000

EP00111539.3

SPEC

Lucent Technologies

00LUC0209EPP

JC978 U.S. PRO  
09/865065  
05/24/01

## Digitales Datenübertragungssystem

### Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Datenübertragungssystem und ein  
5 Verfahren, insbesondere für die Rahmen-orientierte digitale  
Datenübertragung einer Mehrzahl von in einem Trägersignal  
eingebetteten Nutzsignalen im Zeitmultiplexbetrieb, wobei  
eine Ratenanpassung zwischen wenigstens einem Nutzsignal und  
dem Trägersignal mittels Stopfstellen vorgenommen wird.

10

### Stand der Technik

Die digitale Datenübertragung ist von stark wachsender  
Bedeutung für die Informationsgesellschaft des 21.  
Jahrhunderts. Wichtige Anwendungen hierfür sind z.B. die  
15 Sprach- und Datenübermittlung in Telekommunikationsnetzwerken  
und über das Internet. Ein Großteil der digitalen  
Datenübertragung wird heute mittels optischer Signale über  
lichtleitende Fasern bewerkstelligt, da die Übertragung über  
einen optischen Kanal (optical channel, OCh) im Allgemeinen  
20 höhere Datenraten als die Übertragung elektrischer Signale  
über metallische Leiter erlaubt.

Um zwischen unterschiedlichen Nutzern in einem Netzwerk  
Kompatibilität der Datenformate sicherzustellen, werden durch  
25 die International Telecommunication Union (ITU)  
Standardisierungen definiert. Häufig verwendete Standards  
sind die ITU-T G.813, ITU-T G.958, ITU-T G.825, ITU-T G.707  
und ITU-T G.975-Standards, welche hiermit voll umfänglich zum  
Gegenstand der Offenbarung dieser Beschreibung gemacht

werden. Ein flexibles Datenformat wird dadurch erzielt, dass die Daten in Rahmen eingebettet werden, welche typischerweise einen Overhead (Vorspann) und Nutzdatenabschnitte (payload envelope) enthalten. Die zu übertragenden Nutzdaten werden in den Nutzdatenabschnitten eingebettet. Der Overhead dient hierbei unter anderem der Übertragung von Steuerinformationen. Siehe für die Verarbeitung von Overheads optischer Kanäle bei Rahmen-orientierter Datenübertragung über optische Kanäle auch Ballintine, J.E. „Data Format and Generic Processing for OCh-OH“, wave star, volume 420.200.11, issue 1.0, welche Druckschrift hiermit voll umfänglich zum Gegenstand der Offenbarung dieser Beschreibung gemacht wird.

Um mehrere Nutzsignale (clients) über denselben physikalischen Kanal zu übertragen, werden die Nutzsignale typischerweise gebündelt (Multiplexing). Zum Beispiel werden vier Nutzsignale oder Nebenströme mit Datenraten von jeweils 2,488 Gigabit pro Sekunde (Gbit/s) ( $\approx 2,5$  Gbit/s) in ein Trägersignal (server) von etwa 10,7 Gbit/s im Zeitmultiplexverfahren abgebildet. Bekannte und hierfür typischerweise verwendete Datenhierarchien sind die synchrone digitale Hierarchie (synchronous digital hierarchy, SDH) und das synchrone optische Netzwerk (synchronous optical network, SONET).

In diesen bekannten Übertragungssystemen gemäß SDH oder SONET werden Daten typischerweise mittels synchronen Transportmodulen (synchronous transport modules, STM) übertragen. Ein synchrones Transportmodul enthält einen eigenen STM-Section-Overhead (STM-SOH) und einen Nutzdatenbereich, in welchem virtuelle Container mit Nutzdaten eingebettet werden.

30-05-2000

EP00111539.3

SPEC

Ein zentrales Problem bei der digitalen Datenübertragung ist die Behandlung verschiedener Datenraten zwischen den Nutzsignalen (clients) und dem Trägersignal. Ist zum Beispiel  
5 die Rate des Nutzsignals höher als die Rate des Trägersignals, müssen überschüssige Daten als Stopfbytes (stuff bytes) in Stopfstellen (negative stuff opportunities) abgelegt werden, um eine Ratenanpassung zu erzielen. Hierfür enthält jedes synchrone Transportmodul im STM-Section-  
10 Overhead drei Stopfbytes zur Ratenanpassung. Um den durch das Stopfen verschieblichen Beginn des virtuellen Containers zu lokalisieren, befindet sich überdies in dem Section Overhead jedes synchronen Transportmoduls ein Zeiger, welcher als Startwert auf das erste Byte des virtuellen Containers weist  
15 und beim Stopfen dekrementiert oder inkrementiert wird.

Bei der Übertragung der synchronen Transportmodule gemäß SDH oder SONET werden somit innerhalb jedes STM-Section Overheads Stopfstellen vorgehalten. Dieses Verfahren erweist sich aber  
20 als nachteilig, da, Bezug nehmend auf das gewählte Beispiel (4 x 2,5G → 10G), in jedem OCh-Rahmen ein Stopfbereich für jedes der vier Nutzsignale vorgehalten und im Empfänger wieder zugeordnet wird, was mit einer hohen  
Verarbeitungskomplexität verbunden ist und daher einen hohen  
25 und kostenintensiven Hardware- und Software-Aufwand erfordert.

Bei der Übertragung mit sogenannten STM-N/OC-M Multiplexern (welche nach dem ITU-T G.707-Standard arbeiten) wird außerdem  
30 der STM-Section Overhead (STM-SOH) (STM-Abschnittsvorspann) immer abgebrochen. Die genannten Hierarchien sind somit lediglich daten- und zeittransparent bezüglich der administrativen Dateneinheiten, d.h. bezüglich der

30-05-2000

EP00111539.3

SPEC

administrative units, AU-x-Dateneinheiten der synchronen digitalen Hierarchie und bezüglich der äquivalenten Dateneinheiten des synchronen optischen Netzwerks. Das ursprüngliche Timing und der STM-Section Overhead werden nicht übertragen. Somit sind die synchrone digitale Hierarchie und das synchrone optische Netzwerk nicht vollständig daten- und zeittransparent, d.h. es wird keine Bit-für-Bit-Datenerhaltung bei der Übertragung gewährleistet. Dadurch wird unter anderem der Hard- und Software-Aufwand erhöht, da gegebenenfalls ein neuer Overhead im Empfänger erzeugt werden muss.

Zudem ist es wünschenswert, auch Datensignale zu übertragen, deren Datenrate zwar bekannt, aber deren Datenstruktur unbekannt ist. Solche Datensignale werden als Clear-Channel-Signale bezeichnet. Beispiele für solche Clear-Channel-Signale sind Signale gemäß dem Ethernet-Standard oder dem Internet-Protokoll (IP).

Wenn ein solches Clear-Channel-Signal mittels eines Übertragungssystems, welches gemäß der synchronen digitalen Hierarchie arbeitet, übertragen werden soll, so wird es erst in die Struktur der synchronen digitalen Hierarchie übersetzt, d.h. das Signal wird weder daten- noch zeittransparent übertragen. Diese Übersetzung benötigt überdies einen hohen Grad an Verarbeitungskomplexität und verursacht dadurch hohe Kosten.

Eine Aufgabe der Erfindung besteht folglich darin, ein Übertragungssystem und/oder ein Verfahren der eingangs genannten Art zur Verfügung zu stellen, welche die Nachteile des Standes der Technik vermeiden oder zumindest mindern.



Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, ein Übertragungssystem und/oder ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, welche eine daten- und/oder zeittransparente  
5 Übertragung, insbesondere von Datensignalen gemäß der synchronen digitalen Hierarchie, dem synchronen optischen Netzwerk oder Clear-Channel-Signalen zur Verfügung stellen.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, ein  
10 Übertragungssystem und/oder ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, welche von geringer Komplexität sind und einen geringen Kostenaufwand verursachen.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, ein  
15 Übertragungssystem und/oder ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, welche eine zuverlässige Datenübertragung mit geringer Bitfehlerrate ermöglichen.

Die Aufgaben werden in überraschend einfacher Weise bereits  
20 durch das Übertragungssystem und das Verfahren, welche durch die Ansprüche 1 und 17 definiert sind, gelöst.

Bei dem erfindungsgemäßen Übertragungssystem wird wenigstens ein erstes Nutzsignal (client) im Zeitmultiplexverfahren in  
25 ein Trägersignal abgebildet, es werden z.B. Abschnitte des Nutzsignals zeitlich hintereinander übertragen. Es wird eine Rahmen-orientierte Übertragung der digitalen Daten verwendet, wobei die zu übertragenden Daten in einem Überrahmen des Trägersignals eingebettet sind, welcher Überrahmen  
30 vorzugsweise eine Mehrzahl von z.B. vier Rahmen nach dem ITU-T G.975-Standard umfasst oder in Wesentlichen aus diesen zusammengesetzt ist. Erfindungsgemäß werden Nutzdaten des ersten Nutzsignals in Nutzdatenabschnitten, insbesondere

30-05-2000

EP00111539.3

SPEC

vorbestimmten Nutzdatenabschnitten eines ersten Überrahmens eingebettet. Ist z.B. die Rate der Nutzdaten des ersten Nutzsignals höher als die Rate des Trägersignals, werden überschüssige Anteile der Nutzdaten des ersten Nutzsignals in Stopfstellen, welche in dem Überrahmen vorgehalten werden, zur Übertragung eingebettet. Ferner sind Indikatordaten in den ersten Überrahmen einbettbar und werden mit diesem übertragen. Mit den Indikatordaten ist eine Zuordnung der in den Stopfstellen eingebetteten Anteile der Nutzdaten des ersten Nutzsignals mit diesem wieder herstellbar.

Durch die Einbettung überschüssiger Daten, vorzugsweise Bits oder Bytes wird eine Ratenanpassung des ersten Nutzsignals mit dem Trägersignal erzielt.

15

Das erfindungsgemäße Übertragungssystem erlaubt vorteilhafterweise die direkte Bit-für-Bit-Übertragung der Daten, insbesondere von STM-Signalen oder Nutzdaten, d.h. ermöglicht eine Zeit- und Daten-transparente Übertragung des gesamten Datenstroms. Das Signal ist Bit-für-Bit nach der Entbündelung (Demultiplexing), so wie es zuvor gebündelt wurde, wiederherstellbar. Vorteilhafterweise kann das Übertragungssystem somit eine Vielfalt von Signalen bekannter, insbesondere aber auch unbekannter Datenstruktur, z.B. Clear-Channel-Signale übertragen und ist damit auch für zukünftige Anwendungen gut geeignet. Ferner wird insbesondere die Rahmenstruktur des Nutzsignals bei der Übertragung beibehalten und im Empfänger wiedergewonnen.

Überdies ist der Aufwand für das Abschneiden des Overheads von Signalen gemäß der synchronen digitalen Hierarchie oder des synchronen optischen Netzwerks sowohl in der Hardware als auch in der Software geringer als bei bislang bekannten

Systemen, was eine Kostenersparnis bewirkt.

Das erfindungsgemäße Übertragungssystem eignet sich  
insbesondere für die optische Datenübermittlung, z.B. über  
5 lichtleitende Fasern. Die Übertragung mittels eines optischen  
Kanals (optical channel, OCh) findet vorzugsweise gemäß dem  
ITU-T G.975-Standard statt. Dieser definiert eine  
Rahmenstruktur, welche aus einem Overhead (Vorspann), einem  
Nutzdatenabschnitt (regular payload, RP) und einem Abschnitt  
10 für die Vorwärtsfehlerkorrektur (forward error correction,  
FEC) besteht.

Vorzugsweise werden mehrere, z.B. vier Rahmen zu einem  
Überrahmen zusammengefaßt und in nur einem der vier Rahmen,  
15 insbesondere in dem zeitlich dritten Rahmen jedes Überrahmens  
vier Bytes als Stopfstellen vorgehalten. Im selben Rahmen  
werden dann weitere vier Bytes für die Indikatordaten und  
weitere Steuerdaten vorgesehen, wobei die Indikatordaten  
selbst maximal vier Bit belegen. Weiter werden mehrere, z.B.  
20 vier oder sechzehn Überrahmen für die Übertragung von vier  
bzw. sechzehn Nutzsignalen zu einem Vielfachüberrahmen  
zusammengefasst. Ein solcher virtueller Kanal wird auch als  
„digital wrapper“ bezeichnet. Siehe hierzu Ballintine, J.E.  
„Data Format and Generic Processing for OCh-OH“, wave star  
25 volume 420.200.11, issue 1.0.

Vorzugsweise werden nicht in jedem Vielfachüberrahmen  
Nutzdaten jedes Nutzsignals gestopft. Insbesondere wird in  
jedem Vielfachüberrahmen maximal oder genau ein Nutzsignal  
30 zur Ratenanpassung gestopft und zu dem gestopften Nutzsignal  
eine Zuordnungsinformation oder ein Vielfachrahmenindikator  
in das Trägersignal, insbesondere in den Path Layer Overhead  
des Trägersignals eingebettet.

Werden z.B. vier Nutzsignale gebündelt oder abgebildet, so bedeutet dies, dass in zeitlicher Abfolge in einem i-ten Überrahmen Nutzdaten des ersten Nutzsignals, in einem i+1-  
5 sten des zweiten Nutzsignals, in einem i+2-ten des dritten Nutzsignals, in einem i+3-ten des vierten Nutzsignals, in einem i+4-ten wiederum des ersten Nutzsignals und so weiter gestopft werden und in jedem Überrahmen Indikatordaten zur Rückzuordnung der gestopften Nutzdaten zu dem zugehörigen  
10 Nutzsignal vorgesehen sind. Ein Vielfachüberrahmen setzt sich in dem vierzähligen Fall jeweils aus den Überrahmen i, i+1, i+2 und i+3 zusammen. Für den sechzehnzahligen Fall setzt sich ein Vielfachüberrahmen entsprechend aus den Überrahmen i bis i+15 zusammen. Diese Strukturierung hat den Vorteil, dass  
15 in jedem Überrahmen lediglich Nutzdaten nur genau eines Nutzsignals gestopft werden, wodurch eine geringe Komplexität der Verarbeitung und der Rückzuordnung erreicht wird.

Vorzugsweise werden die Indikatordaten im Overhead eines der  
20 Rahmen in dem Überrahmen abgelegt. Vorteilhafterweise werden dabei erfindungsgemäß maximal acht Bytes für die Indikatordaten zusammen mit den Stopfstellen belegt und es werden bislang ungenutzte Bytes im Path Layer Overhead oder Path Overhead als Stopfstellen und für die Indikatordaten  
25 verwendet. Die Verwendung von bereits vorhandenen und bislang ungenutzten Speicherstellen oder Bytes ist besonders vorteilhaft, da die Datenrate des verwendeten virtuellen Digital-Wrapper-Kanals nicht erhöht wird.

30 In einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung werden die überschüssigen zu stopfenden Nutzdaten im Sender zwischengepuffert und erst dann in den Überrahmen eingebettet und übertragen, wenn ein oder vier zu stopfende Bytes

akkumuliert sind. Auch dadurch wird eine deutliche Hardware- und Software-Vereinfachung erzielt.

Da die Indikatordaten für die Rückzuordnung zum Nutzsignal von großer Bedeutung sind, würde sich ein Bit-Fehler in den Indikatordaten äußerst negativ auswirken. Im ungünstigsten Fall wäre das gesamte zugehörige Nutzsignal in dem entsprechenden Vielfachüberrahmen nicht mehr verwendbar. Daher werden die Indikatordaten vorzugsweise redundant codiert. Ein besonders vorteilhaftes Codierverfahren verwendet einen sogenannten Hamming-Code. Die Hamming-Codierung wird zusätzlich zu einer bereits bekannten Reed-Solomon-Codierung (RS-Codierung) angewandt, wodurch eine besonders hohe Sicherheit vor Bitfehlern, d.h. ein extrem niedriges Bitfehlerverhältnis (bit error ratio, BER) gewährleistet wird.

An dieser Stelle ist noch zu erwähnen, dass mit erste, zweite, dritte, vierte, sofern nicht ausdrücklich als zeitlich erste usw. bezeichnet, keine zeitliche Reihenfolge festgelegt, sondern ein Bezugspunkt zur Unterscheidung geschaffen wird.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand beispielhafter Ausführungsformen und unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert.

#### Kurzbeschreibung der Zeichnungen und Tabellen

Es zeigen:

- Fig. 1 Struktur eines Überrahmens, bestehend aus vier OCh-Rahmen gemäß dem ITU-T G.975-Standard
- Fig. 2 verschiedene Abbildungsbeispiele von Nutzsignalen in einem Vielfachüberrahmen eines Trägersignals, bestehend aus sechzehn OCh-

- Überrahmen gemäß Fig. 1,
- Fig. 3 Ausschnitt aus der Struktur des zeitlich dritten Rahmens gemäß Fig. 1 bei Abbildung von vier Nutzsignalen in einem Trägersignal,
- 5 Fig. 4 Ausschnitt aus der Struktur des zeitlich dritten Rahmens gemäß Fig. 1 bei Abbildung von sechzehn Nutzsignalen in einem Trägersignal,
- Fig. 5 Ausschnitt aus der Struktur des zeitlich dritten Rahmens gemäß Fig. 1 bei gemischter Abbildung von dreizehn Nutzsignalen in einem Trägersignal,
- 10 Fig. 6 Anordnung der vier Path Layer Overhead-Bytes X3\_9 bis X3\_12 des optischen Kanals, in welchen die Stopfstellen-Verwaltungsinformation abgelegt ist,
- Fig. 7 Zusammensetzung eines ersten Hamming-Code-Worts HC(6,3,3) zum Schutz der Bits  $M_3$ ,  $M_1$  und  $C_0$ ,
- 15 Fig. 8 Zusammensetzung eines zweiten Hamming-Code-Worts HC(6,3,3) zum Schutz der Bits  $M_3$ ,  $M_1$  und  $C_0$  und
- Fig. 9 die Bitstruktur der 16-Bit-Ratenanpassungs-erweiterung.
- 20
- Ferner zeigen:
- Tab. 1 den Vielfachüberrahmen-Indikator für die Abbildungsbeispiele entsprechend Fig. 2 zwischen den Nutzsignalen und den OCh-Überrahmen,
- 25 Tab. 2 Periodendauern der OCh-Überrahmen und OCh-Vielfach-überrahmen für die Abbildungsbeispiele entsprechend Fig. 2,
- Tab. 3 Bedeutung der beiden Steuerungsbits für die Ratenanpassung  $C_0$  und  $C_1$ ,
- 30 Tab. 4 Zuordnungstabelle zwischen dem 3-Bit-Syndrom  $s$  und dem abgeleiteten Fehlerkorrekturmuster  $c$  (derived error correction pattern),

- Tab. 5 Bitfehlerverhältnis (BER) der Abschnittsschicht  
(Section Layer) des optischen Kanals (OCh) vor und  
nach der Reed-Solomon (RS(255,239,17))-Decodierung,
- Tab. 6 Binomialwahrscheinlichkeiten für unterschiedliche  
Anzahlen von Bitfehlern in einem HC-Codewort nach  
der RS- und vor der HC-Decodierung,
- Tab. 7 Bitfehlerwahrscheinlichkeiten und mittlere Zeit  
zwischen den Bitfehlern und
- Tab. 8 unterstützte Werte des Signalisierungs- und  
Alarmindikators (SAI) ( $S_1$  bis  $S_0$ ) für ein  
spezielles Nutzsignal.

#### Ausführliche Beschreibung der Erfindung

Die im Folgenden erläuterten Ausführungsformen betreffen  
beispielhaft die regelmäßige Überlagerung von 4 Nutzsignalen  
(clients) ( $4 \times 2,5\text{Gbit/s} \rightarrow 10\text{Gbit/s}$  oder  $4 \times 10\text{Gbit/s} \rightarrow$   
 $40\text{Gbit/s}$ ) bzw. 16 Nutzsignalen ( $16 \times 2,5\text{Gbit/s} \rightarrow 40\text{Gbit/s}$ )  
und die gemischte Überlagerung von 13 Nutzsignalen  
( $12 \times 2,5\text{Gbit/s} + 1 \times 10\text{Gbit/s} \rightarrow 40\text{Gbit/s}$ ) zu jeweils einem  
Trägersignal (server). Es wird eine Ratenanpassung mittels  
Stopfstellen 105 zur Verfügung gestellt. Das  
Ausführungsbeispiel arbeitet nach dem ITU-T G.975-Standard.  
Bezug nehmend auf Fig. 1 werden vier der nach dem ITU-T  
G.975-Standard definierten OCh-Rahmen (Rahmen #1 bis Rahmen  
#4) zu einem OCh-Überrahmen #1 zusammengefaßt. Jeder OCh-  
Rahmen oder Rahmen enthält einen Overhead OH, einen Abschnitt  
zum Einbetten von Nutzdaten (payload envelope) und einen  
Abschnitt für die Forwärtsfehlerkorrektur FEC (forward error  
correction). Die Datenraten 10 Gbit/s und 40 Gbit/s für das  
Trägersignal beziehen sich auf die Nutzdatenrate. Durch die  
Hinzufügung des OCh-Overheads und der Forwärtsfehlerkorrektur  
betragen die Datenraten für die gesamte Rahmenstruktur etwa

10,66 Gbit/s bzw. 42,65 Gbit/s. Gemäß der verwendeten  
Rahmenstruktur werden die Daten in einer 16-Byte (16 Zeilen)  
Parallelarchitektur verarbeitet. In diesem OCh-Überrahmen  
oder Überrahmen existieren folgende bislang ungenutzte  
5 Overhead-Bytes des optischen Kanals:

1. im Section Layer Overhead des optischen Kanals OCh-SOH,  
drei bislang ungenutzte Bytes: X2\_3, X2\_4, X2\_5 im  
Rahmen #2
- 10 2. im Tandem Connection Layer Overhead des optischen Kanals  
OCh-TCOH, drei bislang ungenutzte Bytes: X2\_14, X2\_15,  
X2\_16 im Rahmen #2 und
3. im Path Layer Overhead des optischen Kanals OCh-POH,  
acht bislang ungenutzte Bytes: X3\_9, X3\_10, X3\_11,  
15 X3\_12, X3\_13, X3\_14, X3\_15, X3\_16 im Rahmen #3.

Hierbei bezeichnet  $X_{i,j}$  das j-te Byte des Overheads des i-ten  
Rahmens in dem OCh-Überrahmen. Ferner sei an dieser Stelle  
klargestellt, dass der Section Layer Overhead des optischen  
20 Kanals OCh-SOH und der Section Overhead eines synchronen  
Transportmoduls STM-SOH verschieden sind.

Da der Path Layer Overhead POH des optischen Kanals bei jedem  
Abschnitt abgebrochen wird und der Tandem Connection Layer  
25 Overhead TCOH abgebrochen wird, sobald eine Tandemverbindung  
(Tandem Connection, TC) hergestellt ist, eignen sich diese  
Bytes nicht für die Ablage von Ratenanpassungsinformation.  
Daher wird der Path Layer Overhead des optischen Kanals OCh-  
POH für die Ratenanpassung verwendet. Durch die Verwendung  
30 der Overhead-Bytes des optischen Kanals ist der  
Netzwerkoperator in der Lage, sowohl OC-48-Signale sowie  
Clear-Channel-Signale mit einer OC-48-Rate zu übertragen.



### Anwendung einer Vielfachüberrahmen-Struktur

Das beschriebene Übertragungssystem bzw. -verfahren verwendet eine Vielfachüberrahmen-Struktur, welche sich aus 16 OCh-  
 5 Überrahmen, wie sie in Fig. 1 dargestellt sind, zusammensetzt. Erfindungsgemäß wird ein bestimmter Nutzsignalkanal in einem bestimmten Überrahmen SF (super frame) des optischen Kanals OCh gestopft und Verwaltungsinformation für den Stopfvorgang verarbeitet. Die  
 10 Zuordnung für die Abbildungsbeispiele

4 × 2,5Gbit/s	→ 10Gbit/s (Modulo-4-Abbildung)
4 × 10Gbit/s	→ 40Gbit/s (Modulo-4-Abbildung)
16 × 2,5Gbit/s	→ 40Gbit/s (Modulo-16-Abbildung)
15 a×2,5Gbit/s + b×10Gbit/s	→ 10Gbit/s (gemischte Abbildung)

ist in Fig. 2 dargestellt. Dabei ist dem Fachmann offensichtlich, dass diese Beispiele nur exemplarisch zu verstehen sind. Das übertragene Trägersignal enthält ferner  
 20 eine kontinuierliche Abfolge von beliebig vielen Vielfachüberrahmen, so dass sich die Rahmenstruktur entlang des Trägersignals beliebig wiederholt. Jeder Vielfachüberrahmen MF (multi frame) enthält eine Sequenz von 16 OCh-Überrahmen mit der Numerierung  $i, i+1, \dots, i+15$ . Zu  
 25 jedem OCh-Überrahmen gehört entsprechend ein Vielfachüberrahmen-Indikator MFI, d.h. einen Indikationswert  $MFI \in \{0, 1, \dots, 15\}$ . Der Signalausschnitt 101 zeigt eine erste Möglichkeit der regelmäßigen Abbildung von 4 Nutzsignalen in einem Trägersignal. Dabei werden entweder 4  
 30 Nutzsignale #1, #2, #3, #4 mit einer Rate von 2,5 Gbit/s in ein Trägersignal von 10 Gbit/s oder 4 Nutzsignale #1, #2, #3, #4 mit 10 Gbit/s in ein Trägersignal von 40 Gbit/s abgebildet

oder überlagert. Signalabschnitt 102 zeigt die regelmäßige  
Abbildung von 16 Nutzsignalen #1 bis #16 à 2,5 Gbit/s in ein  
Trägersignal von 40 Gbit/s und Signalabschnitt 103 zeigt die  
gemischte Abbildung von 12 Nutzsignalen #1, #3, #4, #5, #7,  
5 #8, #9, #11, #12, #13, #15, #16 à 2,5 Gbit/s und einem  
Nutzsignal #2 von 10 Gbit/s in ein Trägersignal von 40  
Gbit/s. Bei der Überlagerung von 4 Nutzsignalen werden die  
Sequenz aus 4 Nutzsignalen entsprechend viermal wiederholt,  
um einen Vielfachüberrahmen MF auszufüllen. Es ist  
10 ersichtlich, dass bei den verwendeten 16 Überrahmen pro  
Vielfachüberrahmen MF der Vielfachüberrahmen-Indikator MFI  
mindestens 16-wertig sein muss, er wird daher durch eine 4-  
Bit-Zahl dargestellt. In den Fällen, wo nur 4 Nutzsignale,  
wie in Signalabschnitt 101 dargestellt, vorhanden sind,  
15 werden nur die letzten 2 Bits des Vielfachüberrahmen-  
Indikators MFI als Zuordnungsindikator für das Nutzsignal  
interpretiert, d.h. es wird der Rest einer Modulo-4-  
Betrachtung verwendet.

20 Tabelle 1 zeigt die Binärdarstellung des Vielfachüberrahmen-  
Indikators MFI, zusammengesetzt aus den Bits  $M_3$ ,  $M_2$ ,  $M_1$ ,  $M_0$  in  
den ersten vier Spalten. Die fünfte Spalte zeigt die Nummer  
des Nutzsignals für den Fall, dass vier Nutzsignale in einem  
Trägersignal überlagert werden (entsprechend Signalabschnitt  
25 101). Spalte 6 zeigt die Nutzsignalnumerierung für den Fall,  
dass 16 Nutzsignale in einem Trägersignal überlagert werden  
(entsprechend Signalabschnitt 102) und Spalte 7 zeigt die  
gemischte Überlagerung von 12 Signalen à 2,5 Gbit/s und einem  
Signal à 10 Gbit/s in einem Trägersignal von 40 Gbit/s  
30 (entsprechend Signalabschnitt 103). Spalte 8 zeigt die Nummer  
des Vielfachüberrahmens MF beginnend mit dem Startwert 1.

Tabelle 1:

Vielfach- Überrahmen- Indikator MFI				Beschreibung			
$M_3$	$M_2$	$M_1$	$M_0$	$4 \times 2,5G \rightarrow 10G$ $4 \times 10G \rightarrow 40G$	$16 \times 2,5G \rightarrow 40G$	$a \times 2,5G +$ $b \times 10G \rightarrow 40G$	OCh MF#
0	0	0	0	Nutzsignal #1	Nutzsignal #1	Nutzsignal #1 (2,5G)	i
0	0	0	1	Nutzsignal #2	Nutzsignal #2	Nutzsignal #2 (10G)	i+1
0	0	1	0	Nutzsignal #3	Nutzsignal #3	Nutzsignal #3 (2,5G)	i+2
0	0	1	1	Nutzsignal #4	Nutzsignal #4	Nutzsignal #4 (2,5G)	i+3
0	1	0	0	Nutzsignal #1	Nutzsignal #5	Nutzsignal #5 (2,5G)	i+4
0	1	0	1	Nutzsignal #2	Nutzsignal #6	Nutzsignal #2 (10G)	i+5
0	1	1	0	Nutzsignal #3	Nutzsignal #7	Nutzsignal #7 (2,5G)	i+6
0	1	1	1	Nutzsignal #4	Nutzsignal #8	Nutzsignal #8 (2,5G)	i+7
1	0	0	0	Nutzsignal #1	Nutzsignal #9	Nutzsignal #9 (2,5G)	i+8
1	0	0	1	Nutzsignal #2	Nutzsignal #10	Nutzsignal #2 (10G)	i+9
1	0	1	0	Nutzsignal #3	Nutzsignal #11	Nutzsignal #11 (2,5G)	i+10
1	0	1	1	Nutzsignal #4	Nutzsignal #12	Nutzsignal #12 (2,5G)	i+11
1	1	0	0	Nutzsignal #1	Nutzsignal #13	Nutzsignal #13 (2,5G)	i+12
1	1	0	1	Nutzsignal #2	Nutzsignal #14	Nutzsignal #2 (10G)	i+13
1	1	1	0	Nutzsignal #3	Nutzsignal #15	Nutzsignal #15 (2,5G)	i+14
1	1	1	1	Nutzsignal #4	Nutzsignal #16	Nutzsignal #16 (2,5G)	i+15

Wie in Fig. 2 und Tabelle 1 dargestellt, wird jedem  
Überrahmen SF genau ein Nutzsignal zugeordnet. In diesem  
zugeordneten Überrahmen werden nun Stopfstellen 105 zur  
Ratenanpassung des betreffenden Nutzsignals vorgesehen. Diese  
Stopfstellen 105 werden auch als negative Stopfgelegenheiten

(negative stuff opportunities) bezeichnet. Fig. 3 zeigt die Anordnung der Daten in dem Overhead OH und einen 5-Byte-Ausschnitt SPE aus dem Nutzdatenabschnitt des zeitlich dritten Rahmens eines Überrahmens. Der OCh-Rahmen ist für eine Parallelarchitektur von 16 Zeilen ausgelegt. Die ersten 8 Zeilen des Overheads OH sind die Bytes X3\_1 bis X3\_8. Diese 8 Bytes beinhalten bereits reguläre Daten des Path Layer Overheads des optischen Kanals. Die Zeilen 9 bis 12 des Overheads OH (Bytes X3\_9 bis X3\_12) beinhalten erfindungsgemäß die Stopfkontrollverwaltungsinformation 104 für das i-te Nutzsinal, welche auch den Vielfachrahmen-Indikator MFI umfasst. Der Wert des Indikators MFI hängt dabei gemäß Tabelle 1 von der Nummer des Nutzsinals ab, welches einem spezifischen Überrahmen SF zugeordnet ist ab. Die Zeilen 13 bis 16 des Overheads OH (vier Bytes X3\_13 bis X3\_16) enthalten die Stopfstellen 105 oder negative Stopfmöglichkeiten. Es wird in jedem Überrahmen genau ein Nutzsinal gestopft, und die Zuordnung der Stopfstellen 105 zu dem zugehörigen Nutzsinal wird nach der Übertragung mittels des Vielfachrahmen-Indikators MFI wieder hergestellt. Die Spalten 2 bis 6 zeigen einen Ausschnitt der Nutzdatenblöcke RP (regular payload) in denen der Hauptteil der Nutzdaten abgelegt sind. Das eingeklammerte Plus-Zeichen in der zweiten Spalte symbolisiert, dass die Bytes als positive Stopfmöglichkeiten (positive stuff opportunities) verwendet werden, d.h. wenn die Rate des Nutzsinals geringer als die Rate des Trägersignals ist, werden hier vorbestimmte Werte anstatt der Nutzdaten abgelegt.

Fig. 4 zeigt entsprechend Fig. 3 einen Ausschnitt des zeitlich dritten Rahmens im Überrahmen für die Überlagerung von 16 Nutzsinalen in einem Trägersignal gemäß Spalte 6 in Tabelle 1. Eine entsprechende Darstellung zeigt Fig. 5 für

die gemischte Überlagerung von 13 Nutzsignalen gemäß Spalte 7 in Tabelle 1.

Wie in den Figuren 3 bis 5 dargestellt ist, werden für ein vorbestimmtes Nutzsignal #i  $N_s = 4$  Stopfbytes (X3\_13 bis X3\_16) für das negative Stopfen in einem vorbestimmten Überrahmen des optischen Kanals vorgehalten. Um das Stopfen möglichst einfach zu gestalten, werden überschüssige Nutzdaten zwischengepuffert und erst dann gestopft, wenn ein oder vier vollständige zu stopfende Bytes zusammengekommen sind.

Im Folgenden wird die maximal zu verkraftende Frequenzabweichung zwischen einem Nutzsignal und dem Trägersignal berechnet, welche noch durch das Stopfen ausgeglichen werden kann. Die Frequenzabweichung, die verarbeitet werden kann, ist im Wesentlichen durch die Anzahl der verfügbaren Stopfbytes  $N_s$  bestimmt. Grundsätzlich kann die verarbeitbare Frequenzabweichung  $\Delta f_0$  durch folgende Gleichung ausgedrückt werden

$$\Delta f_0 = N_s / N_{\text{Och}} ,$$

wobei  $N_s = 4$  und  $N_{\text{Och}}$  die Anzahl der Nutzdatenbytes sind.

Ferner ist die Anzahl der Bytes pro Nutzsignal in einem Och-Überrahmen SF

$$N_{\text{Och},SF} = 4 \times 238 \times 4 = 3808$$

und die Anzahl der Bytes eines Nutzsignals (modulo-4-Alternative) pro Vielfachüberrahmen MF

$$N_{\text{Och,MF}} = N_{\text{Och,SF}} \times 4 = 15232.$$

Somit ist die maximal verarbeitbare Frequenzabweichung bei vier Stopfbytes

5

$$\Delta f_{0, \text{Byte}} = N_s / N_{\text{Och,MF}} = 1 / N_{\text{Och,SF}} = 262 \text{ ppm}.$$

Dieser Wert gilt für alle beschriebenen Abbildungsbeispiele. In Tabelle 2 ist ein Vergleich der Periodendauern bei verschiedenen Eingangs- und Ausgangs-Datenraten dargestellt.

10

Tabelle 2:

Anwendung		Periode des OCh- Über- rahmens	Perioden- dauer des OCh- Vielfach- Über- rahmens (4 bit MFI)	Anzahl der Stopfbytes pro Nutzsignal in einem OCh Vielfach- Überahmen	Verhältnis R = ( $T_{\text{MF}}/T_{\text{SF}}$ ) x (Nutzsignal /Träger- signal)
Nutz- signal	Träger- signal	$T_{\text{SF}}$	$T_{\text{MF}}$	$N_s$	
2,5G	10G	12,24µs	48,96µs	4	$C_3 = \text{const.} = 1$
2,5G	40G	3,06µs	48,96µs	4	$C_2 = \text{const.} = 1$
10G	40G	3,06µs	12,24µs	4	$C_3 = \text{const.} = 1$

Da das Verhältnis R konstant ist, ist der Wert  $\Delta f_0$  für alle beschriebenen Abbildungsbeispiele gültig.

15

#### Steuerung für die Datenanpassung

Für die Steuerung des Stopfens sind zwei Bits pro Nutzsignal vorgesehen. Die Bedeutung der Werte der Stopfsteuerungsbits  $C_0$  und  $C_1$  ist in Tabelle 3 dargestellt. Hierbei bedeutet positives Stopfen, dass die Rate des Nutzsignals geringer ist als die Rate des Trägersignals, so dass nicht alle Nutzdatenstellen in dem Überrahmen belegt werden. Negatives

20

Stopfen ist notwendig, wenn die Rate des Nutzssignals höher als die Rate des Trägersignals ist, so dass die Nutzdatenbereiche des Überrasrahmens nicht ausreichen, um alle Bits des entsprechenden Nutzssignals unterzubringen. Die überschüssigen Bits werden dann im Sender zwischengepuffert bis 4 Bytes zusammengekommen sind, da 4 Bytes-weise gestopft wird.

Tabelle 3:

Stopf-Steuerungsbits		Beschreibung
C <sub>1</sub>	C <sub>0</sub>	
0	0	„0“: Kein Stopfen
0	1	„+1“: Positives Stopfen
1	0	Kein Stopfen
1	1	„-1“: Negatives Stopfen

#### Fehlerdetektion und -korrektur

Entscheidend für die erfindungsgemäße Ratenanpassung ist, dass die Stopfsteuerungsinformation, d.h. die Stopfsteuerungsbits C<sub>1</sub>, C<sub>0</sub> und der Vielfachrahmen-Indikator MFI jederzeit verlässlich sind. Andernfalls verliert der Desynchronisierer jedes spezifischen Nutzssignals seine Phasenausrichtung und das Nutzs signal ist für den entsprechenden Vielfachüberahmen zerstört.

Ein einfacher und gleichzeitig effektiver Ansatz ist es, die Ratenanpassungsverwaltungsinformation 104, d.h. Vielfachüberahmen-Indikatordaten MFI, die Stopfsteuerungsbits CRA, Signalisierungs- und Alarmbits SAI und weitere Phaseninformation, wie in Fig. 6 dargestellt ist, anzuordnen. Fig. 6 zeigt die Path Layer Overhead-bytes X3\_9 bis X3\_12, in welchen die Stopfverwaltungsinformation 104 abgelegt ist aufgegliedert nach ihren Bits. Die Anordnung startet mit dem höchstwertigen Bit. Die 4 Bytes X3\_9 bis

30-05-2000

EP00111539.3

SPEC

20

X3\_12 sind wie folgt in 5 Abschnitte unterteilt.

1. Vielfachüberraahmen-Indikator MFI
2. Steuerinformation für die Ratenanpassung CRA
- 5 3. Fehlerdetektion und Korrektur EDC
4. Signalisierungs- und Alarmindikation SAI
5. Ratenanpassungserweiterung RAE.

10 Diese Anordnung ist besonders vorteilhaft, da die Schicht des optischen Kanals bereits durch eine Byte-gebündelte Reed-Solomon-Codierung (RS(255, 239, 17)-Codierung), welche dem Fachmann bekannt ist, geschützt ist. Es dem Fachmann ersichtlich, dass mit dem Vielfachüberraahmen-Indikator MFI auch eine Zuordnung der Steuerinformation für die

15 Ratenanpassung CRA, der Fehlerdetektions- und Korrekturdaten EDC, der Signalisierungs- und Alarmindikation SAI und der Ratenanpassungserweiterung RAE zu dem zugehörigen Nutzsignal erzielt wird.

20 Zusätzlich zu den Fehlerkorrekturfähigkeiten der Reed-Solomon-Codierung, welche für die optische Kanalschicht verwendet wird, wird eine Hamming-Codierung (HC-Codierung) auf die Stopfsteuerungsinformation, d.h. auf die MFI und CRA angewandt.

25 Für die Fehlerdetektion und -korrektur EDC (Error Detection und Correction) wird der angewandte Fehlerkorrekturcode ECC als doppelt verschachtelter gekürzter Hamming-Code HC(6,3,3) angewandt. Für die HC-Codierung gilt:

30

- n = 6 (Länge des Codeworts)  
k = 3 (Länge der Nachricht)



21

$m = n - k = 3$  (Anzahl der Steuerungs- oder Kontrollbits)  
 $d_{\min} = 3$  (minimaler Bitfehlerabstand)  
 $t_{\text{correct}} = 1$  (Fehlerkorrekturfähigkeit)  
 $t_{\text{detect}} = 0$  (zusätzliche Fehlerdetektionsfähigkeit)

5

Diese Codierung ist in der Lage, einen einzelnen Bitfehler zu korrigieren, kann aber nicht weitere Fehler simultan detektieren. Es lauten die Generatormatrix  $G$  der verwendeten HC-Codierung

10

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

die zugehörige transponierte Paritätskontrollmatrix  $\mathbf{H}^T$  (parity check matrix)

15

$$\mathbf{H}^T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ und} \quad (2)$$

die zugehörige Decodiermatrix  $\mathbf{D}$

20

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Die folgenden Terme stellen Vektoren, bzw. Matrizen der Dimension  $[a \times b]$  dar, wobei  $a$  die Anzahl der Zeilen und  $b$  die Anzahl der Spalten sind. Es gilt

- $v = (v_2, v_1, v_0)$  (Nachricht,  $[1 \times 3]$ )
- 5  $G$  (Erzeugungsmatrix,  $[3 \times 6]$ )
- $y = (y_5, y_4, y_3, y_2, y_1, y_0)$  (Codewort,  $[1 \times 6]$ )
- $= v \otimes G$
- $e = (e_5, e_4, e_3, e_2, e_1, e_0)$  (Fehlervektor gemäß AWGN-Kanal,  $[1 \times 6]$ )
- 10  $r = (r_5, r_4, r_3, r_2, r_1, r_0)$  (empfangener fehlerbehafteter Codevektor, nach AWGN-Kanal,  $[1 \times 6]$ )
- $= y \oplus e$
- $H^T$  (Paritätskontrollmatrix,  $[6 \times 3]$ )
- $s = (s_2, s_1, s_0)$  (Syndrom,  $[1 \times 3]$ )
- 15  $= r \otimes H^T$
- $c = (c_5, c_4, c_3, c_2, c_1, c_0)$  (Fehlerkorrekturmuster, bestimmt durch das Syndrom,  $[1 \times 6]$ )
- $D$  (Decodiermatrix,  $[6 \times 3]$ )
- $u = (u_2, u_1, u_0)$  (decodierte empfangene Nachricht,  $[1 \times 3]$ )
- 20  $= (r \oplus c) \otimes D$

Die Detektion und Korrektur hängt nun von dem berechneten Syndrom ab, hier werden zwei Unterscheidungen gemacht:

- 25 1. Das Syndrom ist gleich null,  
was dahingehend interpretiert wird, dass ein gültiger Codevektor empfangen wurde und daher keine Fehlerkorrektur notwendig ist, d.h. es wird angenommen, dass kein Fehler vorliegt.
- 30 2. Das Syndrom ist ungleich null,  
in diesem Fall wird angenommen, dass ein einzelner

Bitfehler vorliegt und korrigiert werden kann.

Tabelle 4 zeigt die Zuordnung zwischen dem Syndromvektor  $s$  und dem abgeleiteten Fehlerkorrekturmuster  $c$ .

Tabelle 4:

Syndrom $s$			Abgeleitetes Fehlerkorrekturmuster $c$					
$s_2$	$s_1$	$s_0$	$c_5$	$c_4$	$c_3$	$c_2$	$c_1$	$c_0$
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0	1

Weiter zeigt Tabelle 5 acht verschiedene Bitfehlerverhältnisse vor und nach der Reed-Solomon-Codierung/-Decodierung aber vor der HC-Decodierung. Als „worst case“ wird der erste Zahlenwert, d.h. ein Bitfehlerverhältnis von  $10^{-3}$ .

Tabelle 5:

Bitfehlerverhältnis vor der HC-Decodierung	
ohne RS FEC (vor der RS-Decodierung)	mit RS FEC (nach der RS-Decodierung)
$10^{-3}$	$5,0 \times 10^{-5}$
$5,0 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-6}$
$2,0 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-9}$
$10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-13}$
$10^{-5}$	$6,3 \times 10^{-24}$
$10^{-6}$	$6,4 \times 10^{-33}$
$10^{-7}$	$1,0 \times 10^{-40}$

Nach der Reed-Solomon (RS)-Decodierung wird aus den  $10^{-3}$  ein Bitfehlerverhältnis BER von etwa  $P_{\text{Och,RS}} = 5 \times 10^{-5}$  erhalten. Da die Anzahl der Bits in einem Rahmen des optischen Kanals,

welcher von der RS-Codierung geschützt ist,  $N_{och} = 16 \times 8 \times 255 = 32648$  beträgt, wird eine mittlere Anzahl von fehlerhaften Bits in einem Rahmen des optischen Kanals von

$$N_{och, err} = N_{och} \times P_{och, RS} = 32638 \times 5 \times 10^{-5} = 1,6424$$

erhalten, also weniger als zwei.

Im Folgenden wird die vereinfachende, aber gerechtfertigte Näherung gemacht, dass die Fehler binomialverteilt sind. Die Binomialverteilung für die Wahrscheinlichkeit von  $k$  Bitfehlern in einem Hamming-Codewort der Länge 6 Bit ( $N_{HC} = 6$ ) mit einem Bitfehlerverhältnis oder einer Bitfehlerwahrscheinlichkeit  $P_{err}$  lautet

$$B(N_{HC}, k, P_{err}) = \binom{N_{HC}}{k} \cdot P_{err}^k \cdot (1 - P_{err})^{N_{HC} - k} \quad (4)$$

Darüber hinaus zeigt Tabelle 6 beispielhaft einige Wahrscheinlichkeiten für ausgewählte Bitfehlerverhältnisse des optischen Kanals. Hierin zeigt Spalte 1 das Bitfehlerverhältnis nach der RS-Decodierung, Spalte 2 die Binomial-Verteilung für den Fall  $k = 0$ , Spalte 3 die Binomial-Wahrscheinlichkeit für den Fall  $k > 0$ , Spalte 4 den Fall  $k > 1$  und Spalte 5 den Fall  $k < 1$ , jeweils nach der RS-Codierung/-Decodierung aber vor der HC-Decodierung innerhalb eines Hamming-Codeworts. Da durch die Hamming-Codierung/Decodierung bis zu einem Fehler pro Codewort korrigiert werden kann, zeigt die fünfte Spalte ( $k > 1$ ) die Wahrscheinlichkeit für den Fall, dass die Hamming-Codierung/Decodierung nicht zum gewünschten Erfolg führt, d.h. die Fehler nicht korrigiert werden können.

Tabelle 6:

P <sub>och,RS</sub> (BER nach der RS- Deco- dierung)	Wahrscheinlichkeit für eine bestimmte Anzahl von Bitfehlern [Mathematische Beziehung] in einem Hamming Codewort)			
	1 - [>0]	[>0]	1 - [>1]	[>1]
	[0] „keine Fehler“	[1,2,3,4,5,6] „ein oder mehr Fehler“	[0,1] korrigierbar „weniger als 2 Fehler“	[2,3,4,5,6] nicht korrigierbar „2 oder mehr Fehler“
1,00E-03	9,94014980E-01	5,98501999E-03	9,99985C40E-01	1,49600450E-05
1,00E-04	9,99400150E-01	5,99850020E-04	9,99999850E-01	1,49960004E-07
5,00E-05	9,99700037E-01	2,99962502E-04	9,99999963E-01	3,74950002E-08
1,00E-05	9,99940001E-01	5,99985000E-05	9,99999999E-01	1,49995971E-09
1,00E-06	9,99994000E-01	5,99998500E-06	1,00000000E+00	1,50001123E-11
1,00E-07	9,99999400E-01	5,99999850E-07	1,00000000E+00	1,49558064E-13
1,00E-08	9,99999940E-01	5,99999987E-08	1,00000000E+00	1,77635684E-15
2,00E-09	9,99999988E-01	1,20000002E-08	1,00000000E+00	3,33066907E-16
1,00E-09	9,99999988E-01	1,19999995E-08	1,00000000E+00	2,22044605E-16
1,00E-10	9,99999999E-01	1,20000010E-09	1,00000000E+00	1,11022302E-16
2,00E-13	1,00000000E+00	1,19970700E-12	1,00000000E+00	2,22044605E-16

Es tritt ein nichtkorrigierbarer Fehler in dem  
5 Vielfachüberrahmen-Indikator MFI oder in der  
Steuerinformation für die Ratenanpassung CRA auf, wenn in  
einem HC-Codewort ein Fehler nach der HC-Decodierung  
verbleibt. Die Wahrscheinlichkeit für eine Anzahl von n  
Fehlern im Codewort #i ist

10

$$P_i\{X = n\} = P\{n, \#i\} = B(N_{HC}, P_{och,RS}, n)$$

Somit ist die Wahrscheinlichkeit keinen Fehler in einem der  
beiden HC-Codewörter (nach HC-Decodierung) zu haben

15

$$\begin{aligned} P_{ok} &= P_1\{X = 0\} \cdot P_2\{X = 0\} + \\ &P_1\{X = 0\} \cdot P_2\{X = 1\} + \\ &P_1\{X = 1\} \cdot P_2\{X = 0\} + \end{aligned}$$

26

$$\begin{aligned} & P_1\{X = 1\} \cdot P_2\{X = 1\} \\ &= B(6, P_{\text{Och,RS}}, 0) \cdot B(6, P_{\text{Och,RS}}, 0) + \\ & \quad B(6, P_{\text{Och,RS}}, 0) \cdot B(6, P_{\text{Och,RS}}, 1) + \\ & \quad B(6, P_{\text{Och,RS}}, 1) \cdot B(6, P_{\text{Och,RS}}, 0) + \\ & \quad B(6, P_{\text{Och,RS}}, 1) \cdot B(6, P_{\text{Och,RS}}, 1) \\ &= [B(6, P_{\text{Och,RS}}, 0) + B(6, P_{\text{Och,RS}}, 1)]^2 \end{aligned}$$

und die Wahrscheinlichkeit eines nicht korrigierbaren Fehlers ist

$$P_{\text{Fail}} = 1 - P_{\text{Ok}}$$

Eine weitere untersuchte Eigenschaft des erfindungsgemäßen Übertragungssystems und -verfahrens ist die

Wahrscheinlichkeit einer falschen Stopfentscheidung. Für die mittlere Zeit zwischen einer solchen falschen Entscheidung und einer daraus folgenden Störung des zugehörigen Nutzsignals gilt das Folgende.

In einer Periode der Dauer einer Sekunde werden  $N_{\text{Och}} = 81680$  Och-Rahmen übertragen. Für das Beispiel, welches in Spalte 5 in Tabelle 1 dargestellt ist, (Modulo-4-Abbildung) gilt aufgrund des verwendeten Zeitschlitz-Multiplex-Verfahrens, dass pro Nutzsignal  $N_{\text{Och,client}} = N_{\text{Och}}/4 = 20420$  Och-Rahmen mit Stopfinformation bezüglich dieses speziellen Nutzsignals übertragen werden. Daraus folgt, dass die mittlere Zeit zwischen Fehlern

$$MTBF = 1 / (P_{\text{Fail}} \cdot N_{\text{Och,client}})$$

ist. Tabelle 7 zeigt die mittlere Zeit zwischen Fehlern MTBF für eine Auswahl der in Tabelle 6 gezeigten

Bitfehlerverhältnisse BER. Die tatsächliche mittlere Zeit zwischen Fehlern ist sogar niedriger als in Tabelle 7 dargestellt, da für die Berechnung der Tabelle nicht nach Fehlern in den MFI-/CRA-Bits und den Paritätsbits  $E_0$  bis  $E_5$  unterschieden ist. Ein Fehler in den Paritätsbits ist jedoch ohne Belang. Spalte 1 der Tabelle 7 zeigt die Wahrscheinlichkeit eines Bitfehlers vor der RS-Decodierung, Spalte 2 nach der RS-Decodierung, Spalte 3 die Wahrscheinlichkeit für das Fehlschlagen der Korrektur mittels der Hamming-Decodierung und Spalte 4 die aus Spalte 3 resultierende mittlere Zeit zwischen verbleibenden Fehlern.

Tabelle 7:

$P_{\text{och,RS}}$ (BER vor der RS-Decodierung)	$P_{\text{och,RS}}$ (BER nach der RS-Decodierung)	$P_{\text{fakt}}$ „nicht korrigierbar“ zumindest 2 Fehler in einem HC(6,3,3)-Codewort vor der HC-Decodierung	MTBF „Zeit zwischen Fehler in den Codewörtern nach der Korrektur mittels der HC(6,3,3)-Codierung/Decodierung“
1,00E-03	5,00E-05	7,4990E-08	> 10,88 min
5,00E-04	1,00E-06	3,0000E-11	> 18,89 Tage
2,00E-04	2,00E-09	8,8818E-16	> 1748 Jahre
1,00E-04	2,00E-13	< 4,4409E-16	> 3497 Jahre

Bezüglich der optical light wave system (OLS) Systeminformation (gemäß Spezifikation der Lucent Technologies) muss das Bitfehlerverhältnis in einem OLS-System kleiner als  $10^{-15}$  nach und folglich kleiner  $10^{-5}$  vor der RS-Decodierung sein. Der 16-fach verschachtelte RS-Code kann 8 Symbole korrigieren, und ist daher ziemlich robust gegen Bündelfehler, da er in der Lage ist,  $N = 16 \times 8 \times 8 = 1.024$  Bit lange Fehlerbündel zu korrigieren. Dadurch werden die notwendigen Spezifikationen mit dem erfindungsgemäßen Übertragungssystem und -verfahren erreicht. Trotzdem werden

im Folgenden Fehlerszenarien und entsprechende Mittel für die Alarmindikation im Falle eines Fehlers und die daraus folgenden Maßnahmen beschrieben.

- 5 Die Erzeugung der 6-Bit langen Hamming HC(6,3,3)-Codewörter (systematische Codierung) ist in Fig. 7 dargestellt. Zeile 1 zeigt die Bitposition in dem Hamming-Codewort, wobei in Bit Nr. 5 und 4 die Vielfachüberraahmen-Indikatorwerte  $M_3$  bzw.  $M_1$  und in dem Bit Nr. 3 die Steuerinformation für die
- 10 Ratenanpassung  $C_0$  angeordnet sind. Die Schutzinformationsbits Nr. 2, 1 und 0 tragen die Fehlerdetektions- und - korrekturinformation  $E_1$ ,  $E_3$ ,  $E_4$ . Das zweite Hamming-Codewort ist in Fig. 8 dargestellt und ist analog zu dem ersten Hamming-Codewort aufgebaut. Es trägt in der dargestellten
- 15 Reihenfolge beginnend mit dem höchstwertigen Bit die Daten  $M_1$ ,  $M_0$ ,  $C_1$ ,  $E_5$ ,  $E_2$  und  $E_0$ .

Weiter werden, wie in Fig. 6 in der vierten Spalte gezeigt, vier Bits für die Signalisierungs- und Alarmindikation SAI verwendet. Diese werden mit  $S_3$ ,  $S_2$ ,  $S_1$  und  $S_0$  bezeichnet. Sie tragen die Signalisierungsinformation für jedes Nutz- oder Nebensignal. Ihre Bedeutung ist in Tabelle 8 gezeigt.

Tabelle 8:

Signalisierungs- und Alarmbits				Bedeutung	Hex
$S_3$	$S_2$	$S_1$	$S_0$		
0	0	0	0	OCI: Indikation für offene Verbindung (d.h. unausgerüstet)	0
0	0	0	1	normaler Betriebsmodus, OC-48 ausgerüstet (Standard)	1
0	0	1	0	normaler Betriebsmodus, Clear-Channel ausgerüstet (mit OC-48-Rate)	2
0	0	1	1	vorläufig unbenutzt	3
0	1	0	0	vorläufig unbenutzt	4



0	1	0	1	vorläufig unbenutzt	5
0	1	1	0	vorläufig unbenutzt	6
0	1	1	1	vorläufig unbenutzt	7
1	0	0	0	vorläufig unbenutzt	8
1	0	0	1	vorläufig unbenutzt	9
1	0	1	0	vorläufig unbenutzt	A
1	0	1	1	vorläufig unbenutzt	B
1	1	0	0	vorläufig unbenutzt	C
1	1	0	1	vorläufig unbenutzt	D
1	1	1	0	vorläufig unbenutzt	E
1	1	1	1	FDI: „Forwärts-Fehler-Indikation“	F

Die vorläufig unbenutzten Signalisierungsbits sind für zukünftige Anwendungen reserviert.

- 5 Weiter sind in dem Stopfverwaltungsbereich 16 Bits für die Ratenanpassungserweiterung RAE vorgesehen, wie in der fünften bis achten Spalte (Bit 3, 2, 1, 0) der Fig. 6 dargestellt ist. Diese Ratenanpassungserweiterung RAE beinhaltet eine Zusatzinformation über die kurzperiodischen Ratenschwankungen (jitter) und die langperiodischen Ratenschwankungen (wander) und garantiert für diese gute Eigenschaften durch bekannte Verfahren aus der digitalen Signalverarbeitung. Hierfür werden 16 Bits in dem Overhead OH jedes Überrasrahmens reserviert. Die Darstellung dieser 16 Bits ist in Fig. 9
- 10
- 15 gezeigt.

Das Übertragungssystem toleriert vorteilhafterweise folgende Frequenzabweichungen

- 20 1. Eine maximale Abweichung der Datenrate des Nebenflusses  $f_{trib}$  (tributary, OC-48) (eine Abweichung von  $\pm 20$  ppm bezieht sich auf das Nutzsinal und von  $\pm 4,7$  ppm auf den lokalen Referenztakt)

$$f_{trib} < \pm 25 \text{ ppm}$$

2. und eine maximale Abweichung der Sende-Datenrate  $f_{och}$   
(OCh-10G)

$$f_{och} < \pm 50 \text{ ppm.}$$

5 Es wird eine Jittererzeugung durch den ASIC ( $J_c$ ) von

a)  $J_c < 0,01 \text{ UI}_{rms}$  (gemäß ITU-T G.958, S. 13, Abschnitt  
5.3.1, Bandpass [12 kHz ... 2 MHz]) und

b)  $J_c < 0,1 \text{ UI}_{pp}$  (gemäß ITU-T G.813, Abschnitt 7.3, Option 2,  
Bandpass [12 kHz ... 2 MHz])

10 toleriert.

Für eine Netzwerkelement-Verkettung gilt  $N_{MD} + N_{LR} \leq 76$ , wobei  
 $N_{MD}$  die Anzahl der Multiplex-Demultiplex-Kombinationen und  $N_{LR}$   
die Anzahl der optischen Übersetzereinheiten (Optical

15 Translator Unit, OTU) im Line-Regenerator-Modus (LR) sind.  
Der Jitter  $J_{NEL}$ , welcher am Ende der Kette erzeugt wird,  
erfüllt die folgenden Netzwerk-Grenzwerte

a)  $J_{NEL} < 0,15 \text{ UI}_{rms}$  (ITU-T G.825, Tab. 1, Abschnitt 3.1,

20  $[f_3 \dots f_4] = [1 \text{ MHz} \dots 20 \text{ MHz}]$  und

b)  $J_{NEL} < 1,5 \text{ UI}_{pp}$  (ITU-T G.825, Tab. 1, Abschnitt 3.1,

$[f_1 \dots f_4] = [5 \text{ MHz} \dots 20 \text{ MHz}]$ .

Die langperiodischen Frequenzschwankungen (wander) erfüllen  
25 die Spezifikationen TDEV (time deviation (wander)) und MTIE  
(mean time intervall error (wander)) des Telcordia GR-253-  
Core-Standards (Siehe Fig. 5-17, bzw. Fig. 5-18 des zitierten  
Standards), welcher hiermit voll umfänglich zum Gegenstand  
der Beschreibung gemacht wird.

30

Bezugnehmend auf Fig. 9 werden die Bits  $R_3$  bis  $R_0$  als eine  
ganze Zahl  $R$  in Zweier-Komplementdarstellung interpretiert.

30-05-2000

EP00111539.3

SPEC

31

Diese Zahl trägt weitere Phaseninformation bezüglich des entsprechenden Nutzsignals.

Die beiden Paritätsbits  $P_1$ ,  $P_0$  haben denselben Wert  $P$ . Der  
5 Wert  $P$  repräsentiert eine gerade Parität bezüglich der Bits  $R_1$  bis  $R_0$ .

Somit ist die Anzahl der Bytes, welche für die  
Ratenanpassungsinformation vorgehalten wird, gleich 8, welche  
10 sich aus den 4 Bytes für die Stopfsteuerungsverwaltungs-  
information 104 und den 4 Stopfbytes zusammengesetzt.  
Erfindungsgemäß werden diese 8 Bytes im Path Layer Overhead  
des optischen Kanals im zeitlich dritten OCh-Rahmen jedes  
Überrahmens, d.h. in den Bytes  $X3_9$  bis  $X3_{16}$  freigehalten.

15

Es ist dem Fachmann ersichtlich, dass die beschriebene  
vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung nur exemplarisch  
zu verstehen ist und Abwandlungen darin getätigt werden  
können, ohne den Umfang der Erfindung zu verlassen.

30-05-2000

EP00111539.3

SPEC

Patentansprüche

1. Übertragungssystem für die Rahmen-orientierte  
Übertragung von digitalen Daten mittels eines  
Trägersignals (101, 102, 103) im Zeitmultiplexbetrieb,  
wobei  
das Trägersignal wenigstens ein erstes Nutzsignal  
(#1) umfasst und  
unterschiedliche Datenraten zwischen dem  
Trägersignal (101, 102, 103) und dem ersten Nutzsignal  
(#1) vorliegen,  
erste Nutzdaten des ersten Nutzsignals (#1) in  
Nutzdatenabschnitten (RP) eines ersten Überrahmens (SF)  
eingebettet sind und zweite Nutzdaten des ersten  
Nutzsignals (#1) in Stopfstellen (105) in dem ersten  
Überrahmen (SF) einbettbar sind, um eine Ratenanpassung  
zwischen dem Trägersignal (101, 102, 103) und dem ersten  
Nutzsignal (#1) zu erzielen und  
erste Indikatordaten (MFI) in dem ersten Überrahmen  
(SF) eingebettet sind, mit welchen ersten Indikatordaten  
(MFI) eine Zuordnung der zweiten Nutzdaten zu dem ersten  
Nutzsignal (#1) herstellbar ist.
2. Übertragungssystem nach Anspruch 1, bei welchem  
das Trägersignal wenigstens ein weiteres zweites  
Nutzsignal (#2) umfasst und  
unterschiedliche Datenraten zwischen dem  
Trägersignal (102, 102, 103) und dem zweiten Nutzsignal  
(#2) vorliegen,  
dritte Nutzdaten des zweiten Nutzsignals (#2) in  
dem ersten Überrahmen (SF) eingebettet sind und  
vierte Nutzdaten des zweiten Nutzsignals (#2) in  
Stopfstellen (105) in einem zweiten Überrahmen (SF)

30-05-2000

EP00111539.3

SPEC

33

einbettbar sind, um eine Ratenanpassung zwischen dem Trägersignal (101, 102, 103) und dem zweiten Nutzsignal zu erzielen und

5        zweite Indikatordaten (MFI) in dem zweiten Überrahmen (SF) eingebettet sind, mit welchen zweiten Indikatordaten (MFI) eine Zuordnung der vierten Nutzdaten zu dem zweiten Nutzsignal (#2) herstellbar ist.

10    3.    Übertragungssystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei welchem der erste, insbesondere jeder Überrahmen (SF) eine Mehrzahl von Rahmen, insbesondere vier Rahmen nach dem ITU-T G.975-Standard umfasst.

15    4.    Übertragungssystem nach Anspruch 3, bei welchem der erste, insbesondere jeder Rahmen einen Overhead (OH) umfasst und Indikatordaten (MFI) in dem Overhead (OH), insbesondere in einem Path Layer Overhead (POH) eingebettet sind.

20    5.    Übertragungssystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei welchem in dem ersten Überrahmen (SF) nicht Indikatordaten (MFI) für jedes Nutzsignal (#1, #2, ..., #16) enthalten sind.

25    6.    Übertragungssystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei welchem nicht in jedem Überrahmen (SF) Stopfstellen (105) für Nutzdaten jedes Nutzsignals (#1, #2, ..., #16) vorgehalten sind.

30    7.    Übertragungssystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei welchem in dem ersten Überrahmen (SF) Indikatordaten (MFI) für die Zuordnung von Nutzdaten zu

nur dem ersten Nutzsignal (#1) eingebettet sind.

8. Übertragungssystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei welchem in dem ersten Überrahmen (SF) 5 Stopfstellen (105) für Nutzdaten nur des ersten Nutzsignals (#1) vorgehalten sind.
9. Übertragungssystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei welchem in jedem Überrahmen (SF) 10 Stopfstellen (105) für Nutzdaten maximal eines Nutzsignals (#1) vorgehalten sind.
10. Übertragungssystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei welchem jeder Überrahmen (SF), 15 insbesondere der Overhead (OH) des zeitlich dritten Rahmens in dem Überrahmen (SF), Stopfstellen (105) und einen Bereich zum Einbetten der Indikatordaten (MFI) aufweist.
- 20 11. Übertragungssystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei welchem mehrere, insbesondere vier oder sechzehn Überrahmen (SF) zu einem Vielfachüberrahmen (MF) zusammengefasst sind.
- 25 12. Übertragungssystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei welchem eine Zuordnung jedes Nutzsignal (#1, #2, ..., #16) zu einem Überrahmen eines Vielfachüberrahmens (MF) mittels Indikatordaten (MFI), 30 welche in dem Überrahmen eingebettet sind, herstellbar ist und in dem zugeordneten Überrahmen (SF) Stopfstellen (105) für nur das zugeordnete Nutzsignal vorgesehen sind.

13. Übertragungssystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei welchem die zu stopfenden Nutzdatenabschnitte (RP) zwischengepuffert und/oder vier-Byte-weise in den Stopfstellen (105) eingebettet werden.
14. Übertragungssystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei welchem die Stopfstellen (105) und Indikatordaten (MFI) zusammen maximal acht Byte und/oder die Indikatordaten (MFI) maximal vier Bit pro Überrahmen (SF) belegen.
15. Übertragungssystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei welchem die Indikatordaten (MFI) mittels einer Codierung, insbesondere einer Hamming-Codierung (HC(6,3,3)) geschützt sind.
16. Übertragungssystem nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei welchem die Datenübertragung Daten- und/oder Zeit-transparent ist.
17. Verfahren für die Rahmen-orientierte Übertragung von digitalen Daten eines Trägersignals (101, 102, 103) im Zeitmultiplexbetrieb, wobei das Trägersignal wenigstens ein erstes Nutzsignal (#1) umfasst,  
unterschiedliche Datenraten zwischen dem Trägersignal (101, 102, 103) und dem ersten Nutzsignal (#1) vorliegen,  
erste Nutzdaten des ersten Nutzsignals (#1) in Nutzdatenabschnitten (RP) eines ersten Überrahmens (SF) eingebettet werden und zweite Nutzdaten des ersten Nutzsignals (#1) in Stopfstellen (105) in dem ersten

30-05-2000

EP00111539.3

SPEC

36

Überrahmen (SF) eingebettet werden, um eine  
Ratenanpassung zwischen dem Trägersignal (101, 102, 103)  
und dem ersten Nutzsignal (#1) zu erzielen und  
erste Indikatordaten (MFI) in dem ersten Überrahmen  
(SF) eingebettet werden, mit welchen ersten  
Indikatordaten (MFI) eine Zuordnung der zweiten  
Nutzdaten zu dem ersten Nutzsignal (#1) hergestellt  
wird.



30.05-2000

EP00111539.3

SPEC

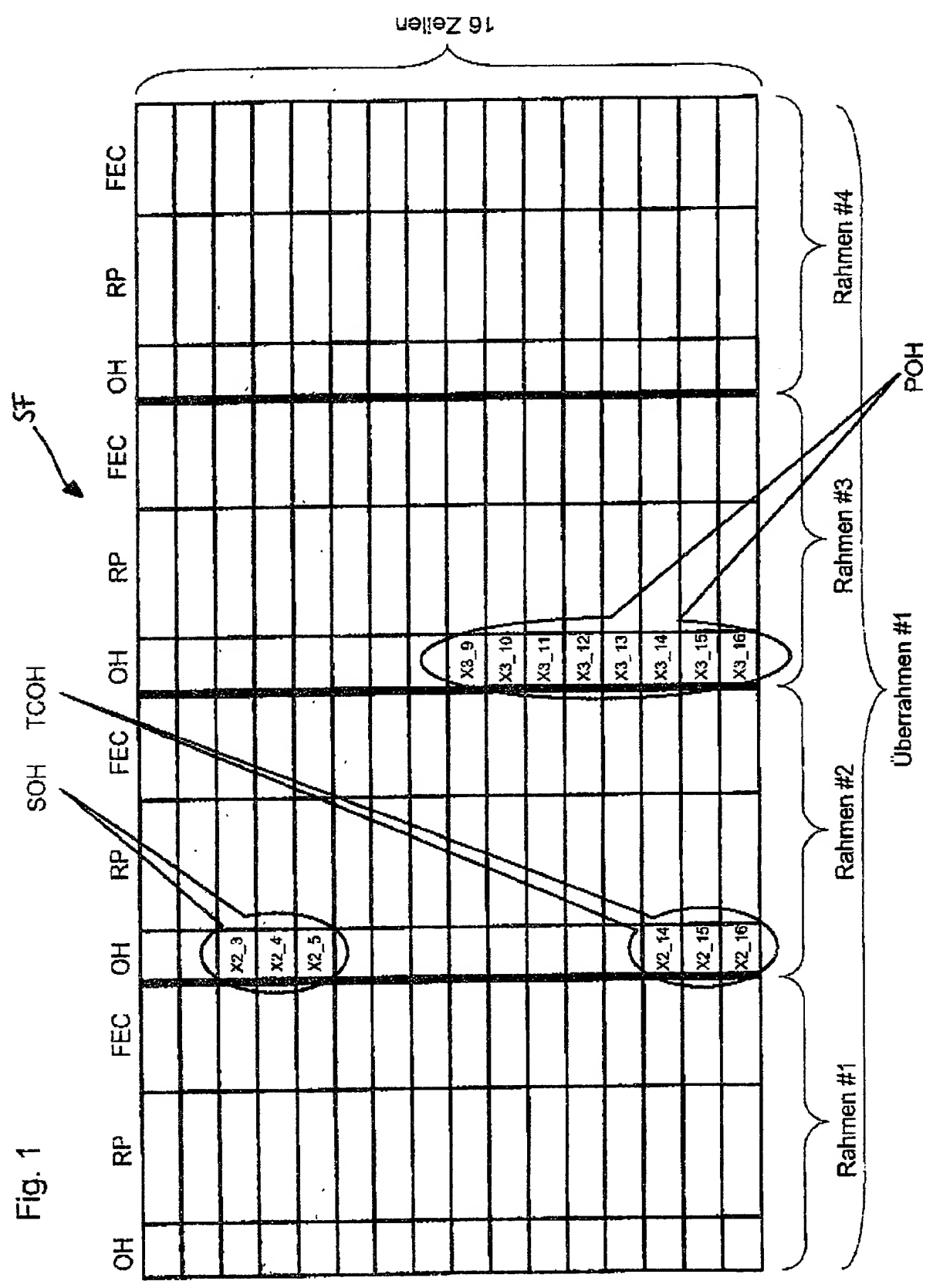
Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Datenübertragungssystem für die  
Rahmen-orientierte digitale Datenübertragung einer Mehrzahl  
5 von in einem Trägersignal eingebetteten Nutzsignalen im  
Zeitmultiplexbetrieb, wobei eine Ratenanpassung zwischen den  
Nutzsignalen und dem Trägersignal mittels Stopfstellen  
vorgenommen wird. Die zu stopfenden Daten und die  
Verwaltungsinformation für die Rückzuordnung werden in  
10 bislang ungenutzten 8 Bytes im Path Layer Overhead des  
Trägersignalüberrahmens eingebettet und durch einen  
HC(6,3,3)-Code geschützt. Vorteilhafterweise können mit dem  
System Clear-Channel-Signale übertragen werden und die  
Übertragung ist Zeit- und Datentransparent.

15

( 1 - 6 )

Fig. 1



( 2 - 6 )

Fig. 2

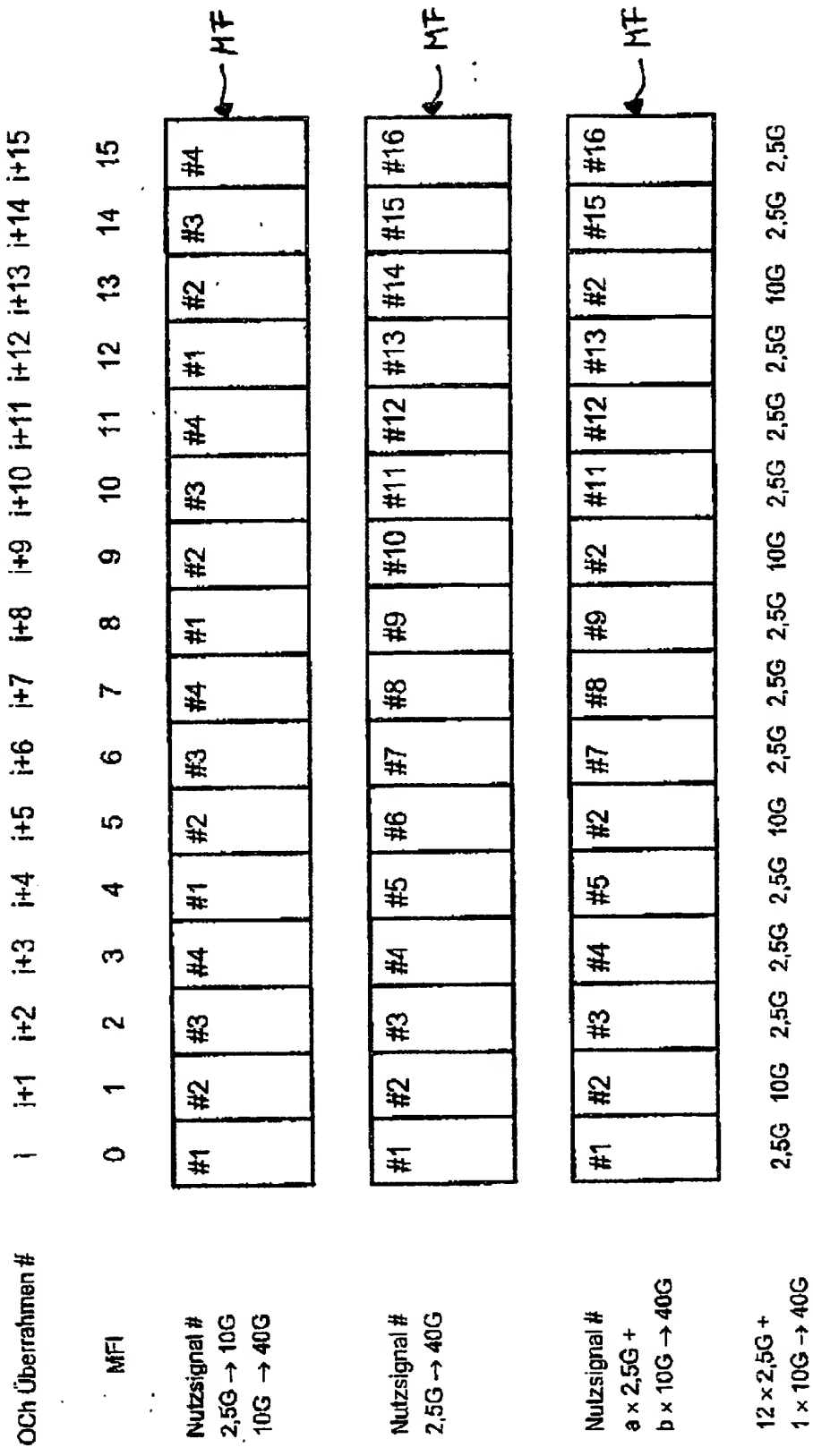


Fig. 3

(3-6)

OH

OH Spalte/Zeile

	1	2	3	4	5	6	Nutzsignal #
1 X3_1	OCh-POH bytes mit regulärer Bedeutung	(+) RP	RP	RP	RP	RP	Nutzsignal #1
2 X3_2		(+) RP	RP	RP	RP	RP	Nutzsignal #2
3 X3_3		(+) RP	RP	RP	RP	RP	Nutzsignal #3
4 X3_4		(+) RP	RP	RP	RP	RP	Nutzsignal #4
5 X3_5		(+) RP	RP	RP	RP	RP	Nutzsignal #1
6 X3_6		(+) RP	RP	RP	RP	RP	Nutzsignal #2
7 X3_7		(+) RP	RP	RP	RP	RP	Nutzsignal #3
8 X3_8		(+) RP	RP	RP	RP	RP	Nutzsignal #4
9 X3_9	Stopfsteuerungs- verwaltungsinformation Nutzsignal #i (i ∈ [1,...,4]) in Abhängigkeit des MFI	(+) RP	RP	RP	RP	RP	Nutzsignal #1
10 X3_10		(+) RP	RP	RP	RP	RP	Nutzsignal #2
11 X3_11		(+) RP	RP	RP	RP	RP	Nutzsignal #3
12 X3_12		(+) RP	RP	RP	RP	RP	Nutzsignal #4
13 X3_13	Negative Stopfstellen (-) (4 Byte) Nutzsignal #i (i ∈ [1,...,4]) in Abhängigkeit des MFI	(+) RP	RP	RP	RP	RP	Nutzsignal #1
14 X3_14		(+) RP	RP	RP	RP	RP	Nutzsignal #2
15 X3_15		(+) RP	RP	RP	RP	RP	Nutzsignal #3
16 X3_16		(+) RP	RP	RP	RP	RP	Nutzsignal #4

16 parallele Zeilen

( 4 - 6 )

Fig. 4

Fig. 4

		OH						SPE						16 parallele Zeilen					
OCh Spalte/Zeile		1						2	3	4	5	6	Nutzsignal #						
1	X3_1	OCh-POH bytes mit regulärer Bedeutung						(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #1						
2	X3_2							(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #2						
3	X3_3							(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #3						
4	X3_4							(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #4						
5	X3_5							(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #5						
6	X3_6							(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #6						
7	X3_7							(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #7						
8	X3_8							(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #8						
9	X3_9	Stopfsteuerungs- verwaltungsinformation Nutzsignal #i (i ∈ [1,...,16]) in Abhängigkeit des MFI						(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #9						
10	X3_10							(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #10						
11	X3_11							(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #11						
12	X3_12							(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #12						
13	X3_13	Negative Stopfstellen (-) (4 Byte) Nutzsignal #i (i ∈ [1,...,16]) in Abhängigkeit des MFI						(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #13						
14	X3_14							(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #14						
15	X3_15							(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #15						
16	X3_16							(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #16						

16 parallele Zeilen

(5-6)

Fig. 5

OH

OCh Spalte/Zeile

SPE

	1	2	3	4	5	6	Nutzsignal #
1 X3_1	OCh-POH bytes mit regulärer Bedeutung	(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #1
2 X3_2		(+) RP	RP	RP	RP	RP	Nutzsignal #2
3 X3_3		(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #3
4 X3_4		(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #4
5 X3_5		(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #5
6 X3_6		(+) RP	RP	RP	RP	RP	Nutzsignal #2
7 X3_7		(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #7
8 X3_8		(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #8
9 X3_9	Stopfsteuerungs- verwaltungsinformation Nutzsignal #i (i ∈ [1,...,16]) in Abhängigkeit des MFI	(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #9
10 X3_10		(+) RP	RP	RP	RP	RP	Nutzsignal #2
11 X3_11		(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #11
12 X3_12		(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #12
13 X3_13	Negative Stopfstellen (-) (4 Byte) Nutzsignal #i (i ∈ [1,...,16]) in Abhängigkeit des MFI	(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #13
14 X3_14		(+) RP	RP	RP	RP	RP	Nutzsignal #2
15 X3_15		(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #15
16 X3_16		(+) RP	(+) RP	(+) RP	(+) RP	RP	Nutzsignal #16

16 parallele Zeilen

30-05-2000

EP00111539.3

( 6 - 6 )

SPEC

Fig. 6

Bit #	7	6	5	4	3	2	1	0
	MFI CRA	CRA EDC	EDC	SAI	RAE			
Byte # X3_9	M <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	E <sub>3</sub>	S <sub>3</sub>	R <sub>15</sub>	R <sub>11</sub>	R <sub>7</sub>	R <sub>3</sub>
Byte # X3_10	M <sub>2</sub>	C <sub>0</sub>	E <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	R <sub>14</sub>	R <sub>10</sub>	R <sub>6</sub>	R <sub>2</sub>
Byte # X3_11	M <sub>1</sub>	E <sub>5</sub>	E <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	R <sub>13</sub>	R <sub>9</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>1</sub>
Byte # X3_12	M <sub>0</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	R <sub>12</sub>	R <sub>8</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>0</sub>

Fig. 7

Position	5	4	3	2	1	0
Bedeutung	MFI		CRA	Schutzzinfor- mationsbits		
HC	M <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	C <sub>0</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>1</sub>

Fig. 8

Position	5	4	3	2	1	0
Bedeutung	MFI		CRA	Schutzzinfor- mationsbits		
HC	M <sub>2</sub>	M <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	E <sub>5</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>0</sub>

Fig. 9

Bit #	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Bedeutung	Parität		Ratenanpassungserweiterung RAE													
	P <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	R <sub>13</sub>	R <sub>12</sub>	R <sub>11</sub>	R <sub>10</sub>	R <sub>9</sub>	R <sub>8</sub>	R <sub>7</sub>	R <sub>6</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>0</sub>

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

### **IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**